Journal of Horticultural Science
https:// jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 36, No. 1, Spring 2022, p. 285-306

Effect of Application of Organic and Biological Fertilizers on Growth and Biochemical Characteristics of Fennel (*Foeniculum vulgar* Miller) under Greenhouse Conditions

S.A.H. Bahari Meymandi[1], Sh. Sharafzadeh[2*], O. Alizadeh[3], F. Bazrafshan[4], B. Amiri[5]

Received: 20-06-2021 Revised: 17-07-2021 Accepted: 08-08-2021 Available Online: 20-06-2022	**How to cite this article:** Bahari Meymandi S.A.H., Sharafzadeh Sh., Alizadeh O., Bazrafshan F., and Amiri B. 2022. Effect of Application of Organic and Biological Fertilizers on Growth and Biochemical Characteristics of Fennel (*Foeniculum vulgar* Miller) under Greenhouse Conditions. Journal of Horticultural Science 36(1):285-306. (In Persian with English Abstract) **DOI:** 10.22067/JHS.2021.70948.1063

Introduction

In recent years, the aggressive application of chemical fertilizers for agricultural production has endangered the health of soil, water, air, as well as crops, and has raised many concerns for the global environment and human health. In addition to the positive biological effects and modification of soil physical and chemical properties due to the gradual release of nutrients, organic fertilizers cause less pollution in the environment. Due to the significant role of medicinal and aromatic plants in different industries, it is important to increasing production of yield and secondary metabolite produced without the use of harmful chemical fertilizers. Fennel (*Foeniculum vulgare* Mill) is widely grown in arid and semi-arid regions and due to its economic importance and pharmaceutical industrial applications, it is one of the world's most dimension medicinal plant. This plant has antiseptic, antispasmodic, antiinflammatory, diuretic, carminative and analgesic effects and is effective in gastrointestinal disorder treatment. Moreover with its antioxidant and antiulcer properties, it is used to treat neurological disorders.

Materials and Methods

This study was conducted to evaluate the effects of organic and biological fertilizers on the morpho-physiological and phytochemical properties of fennel (*Foeniculum vulgar* Miller). In this study, the impacts of vermicompost (0, 4, 8% in pot), animal manure (0, 7.5, 15% in pot) and mycorrhizal fungi (0, 1%) on physiological and biochemical properties of fennel in greenhouse conditions was evaluated. In order to extract the samples to measure biochemical factors, methanol 70% was used at a ratio of 5:1 (volume- weight). Determination of free radical scavenging was performed by using the DPPH test. The samples' absorptions were read at a wavelength of 517 nm with Epoch Microplate Spectrophotometer, BioTek Instruments, Inc., USA. Measuring the total phenols was performed according to the Folin's reagent method and the use of gallic acid as standard (purchased from the brand MERCK, Germany) by using a spectrophotometer at the wavelength of 765 nm. Total flavonoid content was measured using a spectrophotometer at a wavelength of 510 nm through a standard curve of quercetin from Sigma-Aldrich. The Essential oils were obtained from seeds by hydrodistillation for 3 h using a clevenger type device. The analyses of essential oil volatile components were determined by gas chromatography (GC) and gas chromatography-mass spectrometry (GC-MS). Data were analyzed by using Duncan's multiple range test ($P< 0.05$) by SAS, version 9.4 for Windows.

Results and Discussion

1, 2, 4 and 5- Ph.D. Student in Agronomy and Assistant Professors of Department of Agriculture, Firoozabad Branch, Islamic Azad University, Firoozabad, Iran, respectively.
(*- Corresponding Author Email: shahramsharafzadeh@hotmail.com)
3- Associate Professor Department of Agriculture, Shiraz Branch, Islamic Azad University, Shiraz, Iran

The results of current investigation showed that organic and biological fertilizers improved the fennel yield and phytochemical properties such as the plant height, seed weight per plant, fresh and dry weight of roots and plants, content of total phenols and flavonoids, antioxidant activity, percentage of essential oil and root colonization. The highest plant height, number of flowers, umbrellas and seeds per plant and fresh and dry weight of roots were obtained after combined application of 8% in pot vermicompost, 15% in pot animal manure and application of mycorrhiza. According to the results, the highest amount of total flavonoids (177.66 mg/100g DW) and root colonization (35.8%) after of 8% in pot vermicompost + 15% in pot animal manure + mycorrhiza application was observed. The results also revealed that the highest fresh and dry weight of the plants (121.33 and 17.41 g, respectively) was obtained after application of mycorrhiza + 15% in pot animal manure. Application of mycorrhiza in combination with 15% in pot animal manure compared to other treatments caused a significant increase in total phenol content in aerial parts with 73.22 mg/100g DW. In addition, the highest amount of antioxidant activity (51%) was obtained after 8% in pot vermicompost + 15% in pot animal manure application. Application of organic and biological fertilizers significantly increased the 1000 seed weight and the percentage of essential oil in fennel. After 15% in pot animal manure treatment, the highest percentage of essential oil by 3.43% was recorded. In general, the highest percentages of essential oil components were related to (E)-Anethole (78.26%), Fenchone (7.15%), Limonene (6.12%) and Methyl chavicol (3.85%), respectively. The amount of (E)-Anethole as the essential oil predominant compound, in the control treatment was 66.92%. The application of mycorrhiza + 4% in pot vermicompost increased the content of (E) -Anethole in essential oil to 80.72%.

Conclusion

In general, application of vermicompost, animal manure and mycorrhizal fungi improved the growth, biochemical and yield characteristics and essential oil yield of fennel in greenhouse conditions. These fertilizers increased plant yield by providing large amounts of required nutrients and affecting various aspects of root growth and development. Among them, the role of nitrogen may be more prominent due to its participation in protein synthesis and the role of iron in nitrogen fixation, photosynthesis and electron transfer.

Keywords: Essential oil, Fennel, Seed yield, Flavonoid, Mycorrhiza

نشریه علوم باغبانی
https:// jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۶، شماره ۱، بهار ۱۴۰۱، ص ۳۰۶-۲۸۵

اثر کاربرد کودهای آلی و زیستی بر خصوصیات رشدی و بیوشیمیایی رازیانه (*Foeniculum vulgar* Miller) در شرایط گلخانه

سید امیرحمزه بهاری میمندی[۱]- شهرام شرف زاده[۲]*- امید علیزاده[۳]- فرود بذرافشان[۴]- بهرام امیری[۵]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۰/۰۵//۱۷

چکیده

این پژوهش به منظور بررسی اثرات کاربرد کودهای آلـی و زیسـتی بـر خصوصـیات مورفوفیزیولـوژیکی و فیتوشـیمیایی رازیانـه (*Foeniculum vulgar* Miller) انجام شد. در این مطالعه، اثر ورمی‌کمپوست (صفر، ۴ و ۸ درصد در گلدان)، کود حیوانی (صفر، ۷/۵ و ۱۵ درصـد در گلـدان) و قـارچ مایکوریزا (تلقیح ۱ درصد و عدم تلقیح) بر ویژگی‌های فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی رازیانه در شرایط گلخانه مورد بررسی قـرار گرفـت. ایـن آزمـایش بـه صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی اجرا شد. نتایج نشان داد کودهای آلی و زیستی باعث بهبود خصوصیات عملکردی و فیتوشیمیایی رازیانـه نظیر ارتفاع بوته، وزن دانه در بوته، وزن تر و خشک ریشه و گیاه، محتوای فنول و فلاونوئیـد کـل، فعالیـت آنتـی اکسـیدانی، درصـد اسـانس و درصـد کلونیزاسیون شدند. حداکثر ارتفاع بوته، تعداد گل، چتر و دانه در بوته و وزن تر و خشک ریشه، پس از کاربرد تلفیقی ۸ درصد در گلدان ورمـی‌کمپوسـت، ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی و کاربرد مایکوریزا حاصل گردید. بر اساس نتایج، بالاترین میزان فلاونوئید کل (۱۷۷/۶۶ میلی‌گرم در صـد گـرم مـاده خشک) پس از کاربرد تلفیقی ۸ درصد در گلدان ورمی‌کمپوست، ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی و کاربرد مایکوریزا مشاهده شد. نتایج این مطالعه نشان داد بیشترین وزن تر و خشک گیاه (به ترتیب با میانگین‌های ۱۲۱/۳۳ و ۱۷/۴۱ گرم) پس از کاربرد تلفیقی مایکوریزا و ۱۵ درصد در گلدان کود حیـوانی حاصل گردید. کاربرد مایکوریزا در ترکیب با ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی نسبت به سایر تیمارها باعث افزایش معنی‌دار محتوای فنول کـل در انـدام هوایی با میانگین ۷۳/۲۲ میلی‌گرم در صد گرم ماده خشک شد. افزون بر این، بیشترین میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی (۵۱ درصد) پس از کاربرد تلفیقی ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست و ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی حاصل گردید. کاربرد کودهای آلی و زیستی به طور معنـی‌داری باعـث افـزایش وزن هزار دانه و درصد اسانس در گیاه رازیانه شد. پس از اعمال تیمار ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی، بیشترین درصد اسانس میوه با میـانگین ۳/۴۳ درصـد حاصل گردید. به طور کلی بالاترین درصد اجزای تشکیل‌دهنده اسانس میوه در شرایط گلخانه، به ترتیب مربوط بـه (E)-Anethole (۷۸/۲۶ درصـد)، Fenchone (۷/۱۵ درصد)، Limonene (۶/۱۲ درصد) و Methyl chavicol (۳/۸۵ درصد) بود. میزان (E)-Anethole به عنـوان ترکیـب غالـب اسانس، در تیمار شاهد ۶۶/۹۲ درصد گزارش گردید. کاربرد تلفیقی مایکوریزا و ۴ درصد در گلدان ورمی کمپوست محتوای (E)-Anethole موجـود در اسانس را تا ۸۰/۷۲ درصد افزایش داد. به طور کلی ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و مایکوریزا باعـث بهبـود خصوصـیات رشـدی، بیوشـیمیایی و عملکـرد اسانس رازیانه شد. این کودها با در اختیار قرار دادن مقادیر زیادی از عناصر غذایی مورد نیاز و تأثیر بر جنبه‌های مختلف رشد و توسـعه ریشـه، عملکـرد گیاه را افزایش دادند. در این میان شاید نقش نیتروژن به دلیل مشارکت در پروتئین‌سازی و نقش آهن در تثبیـت نیتـروژن، فتوسـنتز و انتقـال الکتـرون، بیشتر از بقیه نمایان باشد.

واژه‌های کلیدی: اسانس، رازیانه، عملکرد بذر، فلاونوئید، مایکوریزا

۱، ۲، ۴ و ۵- به‌ترتیب دانشجوی دکتری زراعت و استادیاران، گروه کشاورزی، واحد فیروزآباد، دانشگاه آزاد اسلامی، فیروزآباد، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: shahramsharafzadeh@hotmail.com)
۳- دانشیار گروه کشاورزی، واحد شیراز، دانشگاه آزاد اسلامی، شیراز، ایران

DOI: 10.22067/JHS.2021.70948.1063

مقدمه

سلامت محصولات تولید شده در سیستم‌های کشاورزی از نظر وجود بقایای سموم و مواد شیمیایی و تأثیر آن‌ها بر سلامت انسان و محیط‌زیست، توجه ویژه‌ای را به روش‌های تولید و نهادهای بکار رفته در امر تولید معطوف داشته است. در سال‌های اخیر در پی بحران آلودگی‌های زیست محیطی تلاش‌های گسترده‌ای به منظور یافتن راهکارهای مناسب برای بهبود کیفیت خاک و محصولات کشاورزی، حذف آلاینده‌ها و حفظ پایداری اکوسیستم‌های طبیعی آغاز شده است. کودهای آلی علاوه بر اثرات مثبت بیولوژیک و اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به علت آزادسازی تدریجی مواد غذایی، آلودگی کمتری را در محیط زیست ایجاد می‌کنند (Kheiry *et al.*, 2016). استفاده از کودهای آلی در سیستم ارگانیک و مدیریت پایدار خاک از اهمیت بالایی برخوردار است. بسیاری از محققین اعتقاد دارند کودهای آلی با افزایش مواد آلی و هوموس خاک موجب افزایش درصد خلل و فرج و اسفنجی شدن خاک و در نهایت کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شوند. این عوامل نیز به نوبه خود موجب رشد و گسترش بیشتر ریشه گیاهان در خاک و در نهایت بهبود جذب آب و عناصر غذایی و افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Weber *et al.*, 2007). کودهای آلی با بهبود ساختمان فیزیکی، هدایت هیدرولیکی، نفوذ آب، تقویت فعالیت زیستی و آنزیمی خاک در نهایت موجب افزایش حاصلخیزی خاک می‌شوند. استفاده از کودهای زیستی در خاک یک روش به زراعی برای حفظ مواد آلی خاک، اصلاح خاک‌های تخریب یافته و تأمین عناصر غذایی گیاهان می‌باشد (Weber *et al.*, 2007).

ورمی‌کمپوست نوعی کمپوست تولیدشده به کمک کرم‌های حلقوی قرمز[1] (Garg *et al.*, 2006) می‌باشد که دارای تخلخل بالا و ظرفیت زیاد نگهداری آب و همچنین قدرت جذب و نگهداری بالای عناصر غذایی بوده که باعث افزایش قابلیت دسترسی گیاه به نیتروژن و فسفر و همچنین افزایش عملکرد گیاهان می‌گردد (Prabha *et al.*, 2007). ورمی‌کمپوست‌ها ویژگی‌های متمایزتری نسبت به سایر کمپوست‌ها دارند که می‌توان به کوتاه بودن پروسه تولید آن‌ها، وجود ساختاری بسیار ظریف و مطلوب‌تر و همچنین حاوی عناصر غذایی در فرم‌هایی با دسترسی بسیار آسان‌تر برای جذب گیاه هستند، اشاره کرد (Roy *et al.*, 2010). گزارشاتی مبنی بر حضور ویتامین B_{12} و تنظیم‌کننده‌های رشد گیاهی در ورمی‌کمپوست‌ها وجود دارد (Atiyeh *et al.*, 2000). احتمالاً خواص فیزیکوشیمیایی مواد هیومیکی موجود در ورمی‌کمپوست‌ها، از طریق افزایش ظرفیت نگهداری عناصر غذایی و تنظیم‌کننده‌های رشد (Arancon *et al.*, 2005) و همچنین افزایش پویایی ریز جانداران خاک (Arancon *et al.*, 2004) باعث بهبود عملکرد در گیاهان می‌شود. علاوه بر این ورمی‌کمپوست‌ها با خاصیت بافری که دارند از تغییرات pH در خاک جلوگیری کرده و جذب کاتیون‌ها را که در خاک‌های قلیایی رسوب می‌کنند، افزایش می‌دهند (Bouwman and Reinecke, 1991).

همزیستی قارچ‌ریشه از رایج‌ترین و سابقه‌ترین روابط همزیستی در سلسله گیاهان است که در اکثر اکوسیستم‌ها وجود دارد؛ به طوری که اکثر گیاهان (حدود ۸۰ درصد گونه‌های گیاهان آوندی) لااقل یکی از تیپ‌های مایکوریزا را دارا هستند (Behrooz *et al.*, 2019). مهم‌ترین و معتبرترین تأثیر رابطه همزیستی مایکوریزا آربسکولار افزایش جذب عناصر معدنی و به ویژه فسفر در گیاه میزبان می‌باشد که این تأثیر بخصوص در اراضی که فسفر محلول در خاک کم بوده یا در اثر خشکی ضریب پخشیدگی عنصر فسفر بسیار کاهش یافته است، مشهودتر است (Jeffries *et al.*, 2003). یکی از مهم‌ترین اثرات قارچ‌های مایکوریزا، افزایش عملکرد گیاهان زراعی خصوصاً در خاک‌هایی با حاصلخیزی پایین است. چن و همکاران (Chen *et al.*, 2020) معتقدند استفاده از قارچ مایکوریزا سرعت رشد گیاه را افزایش داده و بر تخصیص و انتقال مواد بین ریشه و ساقه اثر می‌گذارد، به طوری که با جذب بیشتر عناصر غذایی و انتقال آن‌ها، افزایش وزن خشک اندام هوایی را موجب می‌شوند. در مطالعات متعددی نقش مثبت همزیستی مایکوریزایی در بهبود خصوصیات رشدی گیاهان، مقاومت در برابر تنش‌ها، بازچرخش عناصر غذایی و بهبود کیفیت خاک گزارش شده است (Amiri *et al.*, 2015).

رازیانه (*Foeniculum vulgar* Miller) گیاهی از خانواده چتریان و از قدیمی‌ترین گیاهان ادویه‌ای و دارویی است. منشأ این گیاه نواحی مدیترانه و جنوب اروپا گزارش شده است. در اکثر فارماکوپه‌ها، خاصیت دارویی میوه رازیانه مورد تأکید قرار گرفته است. میوه این گیاه بویی مطبوع دارد که به بوی انیسون شبیه است (Omidbeygi, 2013). رازیانه عمدتاً به منظور استفاده از اسانس (آنتول) حاصل از آن در صنایع مختلف دارویی، غذایی، آرایشی و بهداشتی مورد کشت وکار قرار می‌گیرد (Darzi *et al.*, 2007).

در مطالعات قبلی، نقش مثبت کودهای آلی در افزایش عملکرد اسانس و فعالیت آنتی‌اکسیدانی رازیانه به اثبات رسیده است (Shahat *et al.*, 2011). در پژوهشی دیگر بر روی رازیانه، کاربرد کود زیستی موجب افزایش رشد رویشی، میزان کربوهیدرات، عملکرد اسانس و میزان آنتول اسانس شد (Mahfouz and Sharaf-Eldin, 2007).

1- *Eisenia foetida*

همچنین در مطالعه‌ای توسط مـرادی و همکـاران (Moradi *et al*., 2011)، کـاربرد کودهـای آلـی کمپوسـت و ورمـی کمپوسـت باعـث افزایش عملکرد اسانس و میزان آنتول در اسانس رازیانه شـده اسـت. هدف از این مطالعه، بررسی اثر ورمی‌کمپوست، کـود حیـوانی و قـارچ مایکوریزا بر ویژگی‌های مورفوفیزیولوژیکی و بیوشـیمیایی رازیانـه در شرایط گلخانه است.

مواد و روش‌ها

به‌منظـور بررسـی تـأثیر ورمـی‌کمپوسـت، کـود حیـوانی و قـارچ مایکوریزا بر خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشـیمیایی رازیانـه در شرایط گلخانه، آزمایشی به صـورت فاکتوریـل در قالـب طـرح کـاملاً تصادفی در سال ۱۳۹۷ در گلخانه تحقیقـاتی بنیـاد تعـاون شهرسـتان رودان واقع در استان هرمزگان (دوره نوری ۱۲ سـاعته و دمـای بـین ۲۶-۲۳ درجه سانتی‌گراد) انجـام گردیـد. تیمارهـای آزمـایش شـامل ورمی‌کمپوست (صفر، ۴ و ۸ درصد حجمی گلدان)، کود حیوانی (صفر، ۷/۵ و ۱۵ درصد حجمـی گلـدان) و قـارچ مـایکوریزا (تلقـیح و عـدم تلقیح)، مجموعاً شامل ۱۸ تیمار، در ۳ تکرار، از هر تکرار ۵ گیـاه و در مجموع ۵۴ واحد آزمایشی در نظر گرفته شد. بـذور در گلـدان‌هـای ۵ لیتری کشت شدند. مایه تلقیح قارچ مایکوریزایی به صورت اندام فعال قـارچی (پروپـاگول) شـامل اسـپور هـایف و ریسـه گونـه *Glomus intraradices* در تیمارهای تلقـیح اسـتفاده گردیـد. تیمـار بـا قـارچ مایکوریزایی به‌صورت تلقیح بذر انجام شـد. قبـل از شـروع آزمـایش خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک گلـدان‌هـا، ورمـی‌کمپوسـت و کـود حیوانی تعیین گردیـد (جـدول ۱) (Gholami *et al*., 2018). صـفات مورد بررسی شامل ارتفاع بوته، تعداد شاخه در بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد گل در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن هزاردانه، وزن دانه در بوته، وزن تر و خشک ریشه و گیاه، فنول کل، فلاونوئید کل، فعالیت آنتی-اکسیدانی، درصد اسانس و درصد کلونیزاسیون ریشه بود. جهت تعیین وزن خشک، نمونه‌ها به‌مدت ۴۸ سـاعت در آون بـا دمـای ۸۰ درجـه سلسیوس قرار گرفتند که پس از این مدت وزن خشک آن‌ها محاسبه شد.

برای اندازه‌گیری درصد همزیستی ریشه‌ها با مایکوریزا، ریشه‌هـا بـه دقت با آب مقطر شستشو شد و از محلول تثبیت ریشه‌ها[1] استفاده گردید. مراحل رنگ بری ریشه‌ها و سپس رنگ‌آمیزی آن‌ها طبق روش فیلیـپس و هـیمن (Giovannetti and Mosse, 1980) صـورت گرفـت. ابتـدا برای بی‌رنگ کردن ریشه‌هـا از محلـول ده درصـد KOH بـه مـدت ۳ ساعت استفاده شد و سپس نمونه‌ها با آب مقطر به خوبی شستشو شدند. بـرای رنـگ‌آمیـزی ریشـه‌هـا از محلـول نـیم درصـد تریپـان بلـو در لاکتوگلیسرول استفاده گردید.

جدول ۱- خصوصیات فیزیکوشیمیایی خاک گلدان، ورمی کمپوست و کود حیوانی مورد استفاده

Table 1- Physiochemical properties of the soil, vermicompost and animal manure used

خاک Soil	بافت خاک Soil texture	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	کلر Cl ($meq.L^{-1}$)	سدیم Na	منیزیم Mg	کلسیم Ca	نیکل Ni	آهن Fe	مس Cu	منگنز Mn	روی Zn	پتاسیم K	فسفر P	ازت N (%)	کربن آلی OC (%)	پی- هاش pH	شوری EC ($dS.m^{-1}$)	درصد اشباع SP (%)	عمق Depth (cm)
						($mg.L^{-1}$)			($mg.kg^{-1}$)												
	Sandy	78	12	10	0.7	12	5	4	0.78	8.1	0.83	8.87	2.64	310	4.6	0.02	1.98	7.42	1.38	22	0-30
ورمی کمپوست Vermicompost	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2960	60	392	132	230	3500	6.72	26	7.02	4.50	-	-
کود حیوانی Animal manure	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1870	35	356	92	180	2630	4.60	18	7.23	5.11	-	-

1- Formalin Acetic Acid Allcohol

به منظور تعیین درصد همزیستی قارچ مایکوریزا با ریشه رازیانه، از روش خطوط متقاطع[1] استفاده شد. بدین صورت که ریشه‌های رنگ‌آمیزی شده به قطعات یک سانتی‌متری برش داده شدند و به همراه محلول رنگ‌بر لاکتوگلیسرول روی پلیت شیشه‌ای قرار داده شدند. سپس قطعات ریشه از نظر وجود اندام‌های قارچی در محل تلاقی خطوط افقی و عمودی کاغذ شطرنجی مورد شمارش قرار گرفت و نتایج به صورت درصد بیان گردید.

اندازه‌گیری میزان فنول کل با استفاده از معرف فولین انجام شد (Wojdyło *et al.*, 2007). بدین منظور، ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره الکلی هر نمونه (۱ گرم نمونه به ۵ میلی‌لیتر متانول ۷۰ درصد) با ۲۰۰ میکرولیتر فولین ۵۰ درصد مخلوط و ۲۰۰۰ میکرولیتر آب مقطر مخلوط شد. پس از ۳ دقیقه از اضافه کردن آب مقطر، ۱۰۰۰ میکرولیتر کربنات‌سدیم ۲۰ درصد به محلول اضافه و بعد از کمی هم زدن نمونه‌ها، یک ساعت در شرایط اتاق و در تاریکی نگهداری شدند. سپس جذب نمونه‌ها با استفاده از روش اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۷۶۵ نانومتر قرائت شد. از منحنی استاندارد گالیک‌اسید جهت تعیین میزان فنول کل در نمونه‌ها استفاده شد.

اندازه‌گیری میزان فلاونوئید کل به روش رنگ سنجی کلرید آلومینیوم انجام شد. بدین ترتیب که ابتدا ۱ میلی‌لیتر از عصاره هر نمونه برداشته شده و سپس ۳۰۰ میکرولیتر نیتریت سدیم ۵ درصد به آن اضافه شد. بعد از گذشت ۵ دقیقه از اضافه کردن نیتریت‌سدیم، ۶۰۰ میکرولیتر کلرید آلومینیوم ۱۰ درصد اضافه و پس از گذشت ۶ دقیقه از اضافه کردن کلرید آلومینیوم، ۴ میلی‌لیتر سود ۱ نرمال اضافه شد. محلول فوق با استفاده از آب مقطر به حجم ۱۰ میلی‌لیتر رسانده شده و در نهایت میزان جذب نور با استفاده از اسپکتروفتومتر در طول‌موج ۵۱۰ نانومتر قرائت شد. از منحنی استاندارد کوئرستین جهت تعیین میزان فلاونوئید کل در نمونه‌ها استفاده شد (Menichini *et al.*, 2009).

ارزیابی فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها با استفاده از آزمون DPPH و به روش اسپکتروفتومتری بر پایه کاهش رادیکال‌های آزاد انجام شد. برای این منظور ابتدا ۱۰۰ میکرولیتر از عصاره‌های تهیه شده با غلظت‌های متفاوت به ۵ میلی‌لیتر محلول DPPH (با غلظت ۰/۰۰۴ درصد) اضافه شد. محلول‌ها به مدت ۱۰ ثانیه به‌شدت تکان داده شده و سپس به مدت ۳۰ دقیقه جهت واکنش در دمای اتاق و در محیط تاریک نگهداری شدند و سپس جذب نمونه‌ها در طول‌موج ۵۱۷ نانومتر با استفاده از دستگاه اسپکتروفتومتر قرائت گردید. در نهایت میزان فعالیت آنتی‌اکسیدانی نمونه‌ها با استفاده از رابطه زیر محاسبه و گزارش گردید (Oke *et al.*, 2009).

× عدد جذب شاهد/ (عدد جذب نمونه – عدد جذب شاهد) = درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد ۱۰۰

رابطه ۱- اندازه‌گیری درصد مهارکنندگی رادیکال‌های آزاد

نمونه‌ها پس از خشک‌کردن در سایه توسط دستگاه کلونجر به مدت ۲ ساعت و ۳۰ دقیقه اسانس‌گیری شدند. جهت هر بار اسانس‌گیری میزان ۲۰ گرم از ماده گیاهی درون بالن ۲ لیتری ریخته و ۱۰۰۰ میلی‌لیتر آب به آن اضافه شد. اسانس‌های به‌دست‌آمده به‌صورت وزنی-وزنی (درصد) تعیین راندمان شده پس از آبگیری توسط سولفات سدیم خشک تا قبل از آنالیز در شرایط خنک و تاریک درون یخچال نگهداری شدند (Saharkhiz *et al.*, 2010). تجزیه اسانس نمونه‌های میوه رازیانه با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GC) و کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی (GC-MS) انجام شد. تجزیه ترکیبات اسانس با استفاده از دستگاه کروماتوگرافی گازی (GS) Agilent Technologies مدل 7890 ساخت کشور آمریکا مجهز به ستون HP-5 به طول ۳۰ متر و قطر داخلی ۰/۲۵ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرون انجام شد. برنامه‌ریزی حرارتی ستون از ۶۰ درجه سلسیوس شروع، به تدریج با سرعت ۳ درجه بر دقیقه افزایش یافت تا به ۲۱۰ درجه سلسیوس رسید. سپس افزایش دما تا ۲۴۰ درجه سلسیوس با سرعت ۲۰ درجه بر دقیقه انجام گرفت و به‌مدت ۸/۵ دقیقه در دمای نهایی نگه داشته شد. دمای محفظه تزریق ۲۸۰ درجه سلسیوس بود. از گاز نیتروژن به عنوان گاز حامل استفاده شد که فشار ورودی گاز برابر ۱ میلی‌متر بر دقیقه تنظیم شد. جهت شناسایی ترکیبات موجود در اسانس از کروماتوگرافی گازی متصل به طیف‌سنج جرمی Agilent Technologies مدل 5975 دارای ستون HP-5MS به طول ۳۰ متر و قطر ۰/۳۲ میلی‌متر و ضخامت لایه فاز ساکن ۰/۲۵ میکرون استفاده شد. برنامه‌ریزی حرارتی ستون شبیه به برنامه‌ریزی ستون دستگاه GC بود. دمای محفظه تزریق ستون (۲۸۰ درجه سلسیوس) تنظیم شد. انرژی یونیزاسیون معادل ۷۰ الکترون ولت بود. دمای دتکتور مورد استفاده ۲۸۰ درجه سلسیوس تنظیم شد، نوع گاز حامل هلیوم با فشار ورودی یک میلی‌لیتر در دقیقه بود.

تجزیه آماری داده‌ها با استفاده از نرم‌افزار SAS نسخه ۹/۴ انجام گرفت. مقایسه میانگین‌ها با استفاده از آزمون چند دامنه‌ای دانکن در سطح احتمال ۱ و ۵ درصد گزارش گردید. برای رسم نمودارها از نرم‌افزار Excel 2016 استفاده شد.

نتایج

1- Grid line Intersect Method

جدول ۲- تجزیه واریانس اثر ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه رازیانه

Table 2- ANOVA for the effect of vermicompost, animal manure and mycorrhiza on some morphophysiological and biochemical characteristics of fennel

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares								
		ارتفاع بوته Plant height	تعداد شاخه در بوته Number of branches/plant	تعداد چتر در بوته Number of umbrellas/plant	تعداد گل در بوته flower number/plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds/plant	وزن هزار دانه 1000-seed weight	وزن دانه در بوته Seed weight/plant	وزن تر گیاه Plant fresh weight	وزن خشک گیاه Plant dry weight
ورمی‌کمپوست Vermicompost (V)	2	591.46 **	2.32 **	0.48 **	937053 **	116296.7 **	0.04 **	0.42 **	108.13 **	2.29 **
کود حیوانی Animal (AM) manure	2	626.24 **	2.5 **	1.86 **	919895.4 **	73563.6 **	0.0096 **	0.24 **	57.06 **	1.19 **
مایکوریزا Mycorrhiza (M)	1	342.51 **	1.63 **	1.74 **	813525.6 **	50416.6 **	0.027 **	0.17 **	68.45 **	1.42 **
V × AM	4	4.32 ns	0.05 ns	0.07 **	243429 **	7592.4 **	0.00087 ns	0.0099 *	1.23 ns	0.019 ns
V × M	2	10.68 *	0.01 ns	0.06 *	152698.6 **	1825.05 **	0.0002 ns	0.0121 *	0.3 ns	0.008 ns
AM × M	2	2.9 ns	0.04 ns	0.17 **	84482.7 **	8015.7 **	0.00009 ns	0.0047 ns	6.74 **	0.141 **
V × AM × M	4	10.65 *	0.02 ns	0.04 *	185227.6 **	1125.6 **	0.00018 ns	0.0027 ns	2.6 ns	0.049 ns
خطا Error	36	3.03	0.04	0.017	27.29	19.85	0.00041	0.0029	1	0.022
ضریب تغییرات C.V (%)	-	2.99	2.27	2.48	0.2	0.22	1.63	2.3	0.85	0.87

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری

ns, * and **: non-significance and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively

ادامه جدول ۲- تجزیه واریانس اثر ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه رازیانه

Continued Table 2- ANOVA for the effect of vermicompost, animal manure and mycorrhiza on some morphophysiological and biochemical characteristics of fennel

منابع تغییرات S.O.V	درجه آزادی Df	میانگین مربعات Mean squares						
		وزن تر ریشه Root fresh weight	وزن خشک ریشه Root dry weight	فنول کل Total phenol	فلاونوئید کل Total flavonoid	آنتی‌اکسیدان Antioxidant	درصد اسانس Essential oil content	کلونیزاسیون root colonization
ورمی‌کمپوست Vermicompost (V)	2	9.86 **	0.24 **	373.6 **	924.6 **	433.4 **	1.24 **	106.64 **
کود حیوانی Animal (AM) manure	2	9.46 **	0.23 **	607.2 **	930.38 **	376.32 **	4.23 **	30.24 **
مایکوریزا Mycorrhiza (M)	1	1.83 **	0.045 **	427.8 **	824.46 **	290.27 **	3.45 **	212.37 **
V × AM	4	0.28 **	0.0072 **	10.5 *	3.47 ^{ns}	17.41 **	0.023 ^{ns}	8.38 **
V × M	2	0.064 **	0.0014 *	2.07 ^{ns}	9.4 *	3.8 ^{ns}	0.027 ^{ns}	2.54 *
AM × M	2	0.017 ^{ns}	0.00042 ^{ns}	31.12 **	94.7 **	1.45 ^{ns}	0.034 ^{ns}	6.14 **
V × AM × M	4	0.034 *	0.00088 *	4.18 ^{ns}	6.15 *	1.38 ^{ns}	0.030 ^{ns}	10.43 **
خطا Error	36	0.011	0.00029	2.75	2.2	2.86	0.016	0.74
ضریب تغییرات C.V (%)	-	1.14	1.13	2.62	0.93	4.12	4.45	3.3

**، * و ns: به ترتیب معنی‌دار در سطوح احتمال ۱ و ۵ درصد و عدم معنی‌داری

ns, * and **: non-significance and significant at 5 and 1% of probability levels, respectively.

نتایج این مطالعه نشان داد، برهمکنش ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و قارچ مایکوریزا بر صفات ارتفاع بوته، تعداد چتر در بوته، تعداد گل در بوته، تعداد دانه در بوته، وزن تر و خشک ریشه، فلاونوئید کل و درصد کلونیزاسیون معنی‌دار است. با این حال برهمکنش این سه عامل بر سایر صفات معنی‌دار نبود (جدول ۲). نتایج این بررسی نشان داد، برهمکنش ورمی کمپوست و کود حیوانی بر وزن دانه در بوته، فنول کل و درصد فعالیت آنتی‌اکسیدان معنی‌دار است. همچنین نتایج این تحقیق حاکی از معنی‌دار بودن برهمکنش ورمی کمپوست و قارچ مایکوریزا بر وزن دانه در بوته بود. افزون بر این، وزن تر و خشک گیاه و همچنین محتوای فنول کل در اندام هوایی گیاه تحت تأثیر برهمکنش کود حیوانی و قارچ مایکوریزا قرار گرفت (جدول ۲). در این مطالعه، اثر ساده ورمی کمپوست بر تعداد شاخه در بوته، وزن هزار دانه، وزن تر و خشک گیاه و درصد اسانس در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار بود. اثر ساده کود حیوانی بر صفات تعداد شاخه در بوته، وزن هزار دانه و درصد اسانس معنی‌دار ($p\leq 0.01$) گردید. همچنین تعداد شاخه در بوته، وزن هزار دانه، فعالیت آنتی‌اکسیدانی و درصد اسانس نیز به طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد قارچ مایکوریزا قرار گرفتند (جدول ۲).

نتایج مقایسه میانگین نشان داد کاربرد ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و قارچ مایکوریزا باعث افزایش ارتفاع گیاه و تعداد چتر در بوته می‌شوند. بر اساس نتایج به دست آمده بالاترین ارتفاع (۷۷/۳۳ سانتی‌متر) و تعداد چتر در بوته (۶/۱۶ عدد)، پس از کاربرد تلفیقی ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست، ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی و تلقیح مایکوریزا به دست آمد (جدول ۳).

نتایج نشان داد کاربرد تلفیقی ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست، ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی و تلقیح مایکوریزا در مقایسه با سایر تیمارهای کودی باعث افزایش تعداد گل در بوته رازیانه گردید. به‌طوری که بالاترین تعداد گل در بوته با میانگین ۳۸۰۴/۳ عدد در این تیمار مشاهده گردید. در این پژوهش زمانی که از منابع کودی استفاده نشد (تیمار شاهد)، کمترین تعداد گل در بوته (با میانگین ۲۱۱۹/۳ عدد) حاصل گردید (جدول ۳).

همچنین بیشترین تعداد دانه در بوته (۲۰۵۴ عدد) پس از کاربرد تلفیقی ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست، ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی و تلقیح قارچ مایکوریزا حاصل گردید. با این حال پس از کاربرد تیمار شاهد، کمترین تعداد دانه در بوته (۱۷۱۷ عدد) مشاهده شد (جدول ۳).

به‌طور کلی کاربرد ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و مایکوریزا باعث افزایش وزن تر و خشک ریشه در گیاه شد. در بین تیمارهای مورد استفاده، کاربرد تلفیقی ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست، ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی و تلقیح مایکوریزا، بالاترین اثر را از این جنبه داشت. به‌طوری که میزان وزن تر و خشک ریشه در این تیمار به ترتیب با میانگین‌های ۱۱/۱۹ و ۱/۷۷ گرم به دست آمد. در این پژوهش زمانی که از منابع کودی استفاده نشد (تیمار شاهد)، کمترین وزن تر و خشک ریشه (به ترتیب با میانگین‌های ۷/۹ و ۱/۲۵ گرم) حاصل گردید (جدول ۳).

میزان فلاونوئید کل در اندام هوایی گیاه تحت تأثیر برهم‌کنش ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و مایکوریزا قرار گرفت و تفاوت معنی-داری بین تیمارها مشاهده گردید. نتایج نشان داد بالاترین میزان فلاونوئید کل در گیاه (۱۷۷/۶۶ میلی‌گرم در صد گرم ماده خشک) در تیمار کاربرد تلفیقی ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست، ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی و استفاده از قارچ مایکوریزا حاصل شد. کمترین میزان فلاونوئید کل (۱۴۰/۶ میلی‌گرم در صد گرم ماده خشک) مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۳).

نتایج این پژوهش نشان داد درصد کلونیزاسیون ریشه به‌شدت تحت تأثیر کاربرد تلفیقی ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و مایکوریزا قرار گرفت. بیشترین (با میانگین ۳۵/۸ درصد) و کمترین (با میانگین‌های ۲۱/۰۳ و ۲۲/۳ درصد) درصد کلونیزاسیون به ترتیب در تیمارهای کاربرد تلفیقی ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست، ۷/۵ درصد در گلدان کود حیوانی و استفاده از قارچ مایکوریزا و شاهد و کاربرد ۷/۵ درصد در گلدان کود حیوانی به تنهایی (بدون اختلاف معنی‌دار با تیمار شاهد) حاصل گردید (جدول ۳).

در این پژوهش اثر متقابل ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و مایکوریزا بر تعداد شاخه در بوته معنی‌دار نبود. با این حال اثر ساده هر کدام از این عامل ها در سطح احتمال ۱ درصد معنی‌دار گردید (جدول ۲). نتایج نشان داد با افزایش غلظت ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و استفاده از مایکوریزا، تعداد شاخه در بوته نیز به مراتب افزایش پیدا می‌کند. کاربرد ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست نسبت به سایر تیمارهای ورمی کمپوست باعث افزایش معنی‌دار تعداد شاخه در بوته شد. همچنین پس از اعمال تیمار ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی، بیشترین تعداد شاخه در بوته با میانگین ۹/۶۷ عدد حاصل شد. استفاده از مایکوریزا تعداد شاخه در بوته را به طور معنی‌داری تا ۹/۴۶ عدد افزایش داد (شکل ۱).

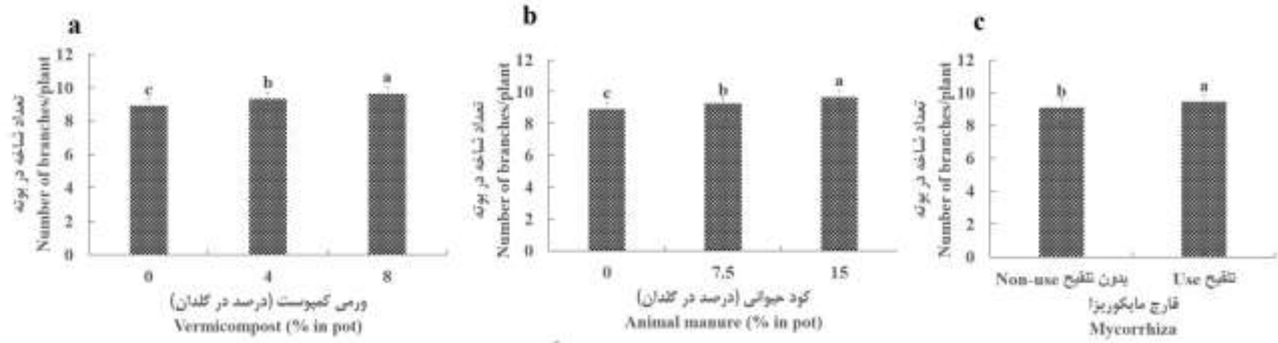
جدول ۳- اثر متقابل ورمی‌کمپوست× کود حیوانی × قارچ مایکوریزا بر برخی خصوصیات مورفوفیزیولوژیکی و بیوشیمیایی گیاه رازیانه

Table 3- The interaction effect of vermicompost× animal manure ×mycorrhiza on some morphophysiological and biochemical characteristics of fennel plant

ورمی کمپوست Vermicompost (% in pot volume)	کود حیوانی Animal manure (% in pot)	مایکوریزا Mycorrhiza	میانگین Mean							
			ارتفاع بوته Plant height (cm)	تعداد چتر در بوته Number of umbrellas/plant	تعداد گل در بوته flower number/plant	تعداد دانه در بوته Number of seeds/plant	وزن تر ریشه Root fresh weight (g)	وزن خشک ریشه Root dry weight (g)	فلاونوئید کل Total flavonoid (mg.100g^{-1} DW)	کلونیزاسیون Colonization (%)
0	0	Non-use	44.33 ^{l}	4.73 ^{h}	2119.3 ^{o}	1717 ^{n}	7.9 ^{k}	1.25 ^{k}	140.6 ^{h}	21.03 ^{j}
		Use	51.33 ^{k}	5 ^{g}	2317 ^{l}	1831.7 ^{l}	8.43 ^{j}	1.33 ^{j}	148 ^{g}	24.7 ^{g}
	7.5	Non-use	47 ^{l}	4.96 ^{g}	2205.3 ^{n}	1824 ^{m}	8.4 ^{j}	1.32 ^{j}	146.3 ^{g}	22.3 ^{ij}
		Use	55 ^{hi}	5.16 ^{efg}	2395.3 ^{i}	1848 ^{k}	9 ^{h}	1.42 ^{h}	152.3 ^{f}	25.3 ^{fg}
	15	Non-use	58 ^{fg}	5.53 ^{c}	2323.3 ^{l}	1939.3 ^{h}	9 ^{h}	1.42 ^{h}	151.6 ^{f}	23.2 ^{hi}
		Use	62 ^{cde}	5.8 ^{b}	2400.3 ^{i}	2006 ^{f}	9.37 ^{g}	1.48 ^{g}	166 ^{c}	27.03 ^{cde}
4	0	Non-use	51.66 ^{jk}	5.06 ^{g}	2253.7 ^{m}	1861.3 ^{j}	8.66 ^{i}	1.37 ^{i}	147.3 ^{g}	22.5 ^{hi}
		Use	54.33 ^{ij}	5.16 ^{efg}	2421.7 ^{h}	1988 ^{g}	9.06 ^{h}	1.43 ^{h}	153.6 ^{ef}	26.5 ^{def}
	7.5	Non-use	52 ^{jk}	5.13 ^{fg}	2343.3 ^{k}	1927 ^{i}	9.83 ^{f}	1.55 ^{f}	155.6 ^{e}	23.9 ^{gh}
		Use	59.33 ^{efg}	5.5 ^{cd}	2497.3 ^{f}	2011.3 ^{ef}	9.96 ^{ef}	1.57 ^{ef}	158.6 ^{d}	27.13 ^{cde}
	15	Non-use	60.66 ^{def}	5.4 ^{cd}	2630 ^{d}	2027 ^{c}	10.11 ^{e}	1.6 ^{de}	158.6 ^{d}	14.7 ^{g}
		Use	67 ^{b}	6 ^{ab}	2680.3 ^{c}	2045.7 ^{b}	10.56 ^{c}	1.67 ^{c}	173 ^{b}	28.2 ^{c}
8	0	Non-use	57.33 ^{gh}	5.16 ^{efg}	2383.7 ^{j}	1931.7 ^{i}	9.03 ^{h}	1.43 ^{h}	158.3 ^{d}	24.6 ^{g}
		Use	60 ^{efg}	5.3 ^{def}	2500 ^{f}	2019.3 ^{d}	9.3 ^{g}	1.47 ^{g}	160.6 ^{d}	27.9 ^{cd}
	7.5	Non-use	63.33 ^{cd}	5.33 $^{c-f}$	2448 ^{g}	2017.7 ^{de}	10.13 ^{de}	1.6 ^{de}	160.6 ^{d}	26.2 ^{ef}
		Use	64.66 ^{bc}	5.83 ^{b}	2620.7 ^{e}	2030.7 ^{c}	10.29 ^{d}	1.62 ^{d}	166.6 ^{c}	35.8 ^{a}
	15	Non-use	67.33 ^{b}	5.36 ^{cde}	2721 ^{b}	2039.7 ^{b}	10.8 ^{b}	1.7 ^{b}	167 ^{c}	28.03 ^{c}
		Use	77.33 ^{a}	6.16 ^{a}	3804.3 ^{a}	2054 ^{a}	11.19 ^{a}	1.77 ^{a}	177.66 ^{a}	29.7 ^{b}

در هر ستون، میانگین‌های دارای حداقل یک حرف مشترک، در سطح احتمال پنج درصد ، بر اساس آزمون چند دامنه‌ای دانکن، با یکدیگر تفاوت معنی‌دار ندارند.

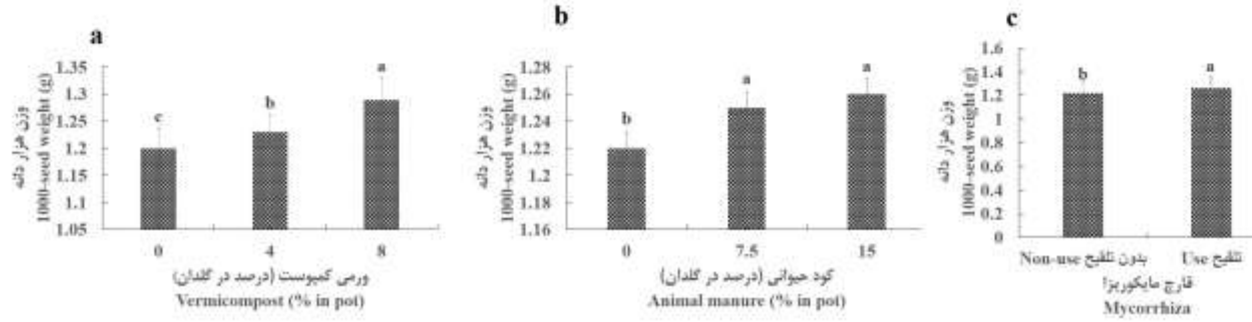
Means followed by the same letter within a column are not significantly difference according to Duncan's multiple range test at $p< 0.05$.



شکل ۱- اثر ساده ورمی‌کمپوست (a)، کود حیوانی (b) و قارچ مایکوریزا (c) بر تعداد شاخه در بوته در گیاه رازیانه

Figure 1- The effect of vermicompost (a), animal manure (b) and mycorrhiza (c) on number of branches per plant in fennel. (DMRT, $p \leq 0.05$)

نتایج این پژوهش نشان داد با افزایش غلظت ورمی کمپوست، کود حیوانی و استفاده از مایکوریزا، وزن هزار دانه نیز به طور معنی‌داری افزایش پیدا می‌کند. کاربرد ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست نسبت به سایر تیمارهای ورمی کمپوست باعث افزایش معنی‌دار (۱/۲۹ گرم) وزن هزار دانه شد. پس از اعمال تیمار ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی، بیشترین وزن هزار دانه با میانگین ۱/۲۶ گرم حاصل شد. همچنین استفاده از مایکوریزا وزن هزار دانه را به طور معنی‌داری تا ۱/۲۶ گرم افزایش داد که اختلاف معنی‌داری از نظر آماری با سایر تیمارها نشان داد (شکل ۲).

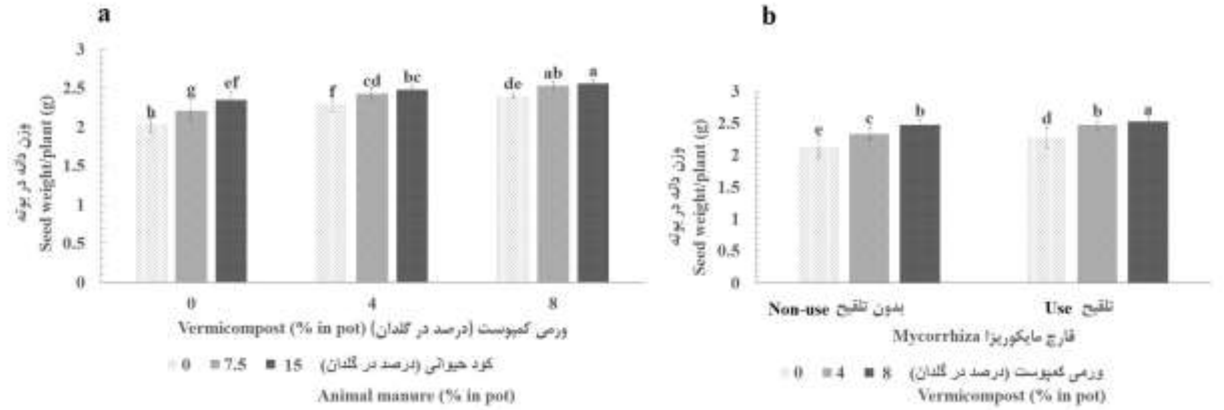


شکل ۲- اثر ساده ورمی‌کمپوست (a)، کود حیوانی (b) و قارچ مایکوریزا (c) بر وزن هزار دانه در گیاه رازیانه

Figure 2- The effect of vermicompost (a), animal manure (b) and mycorrhiza (c) on 1000-seed weight in fennel. (DMRT, $p \leq 0.05$)

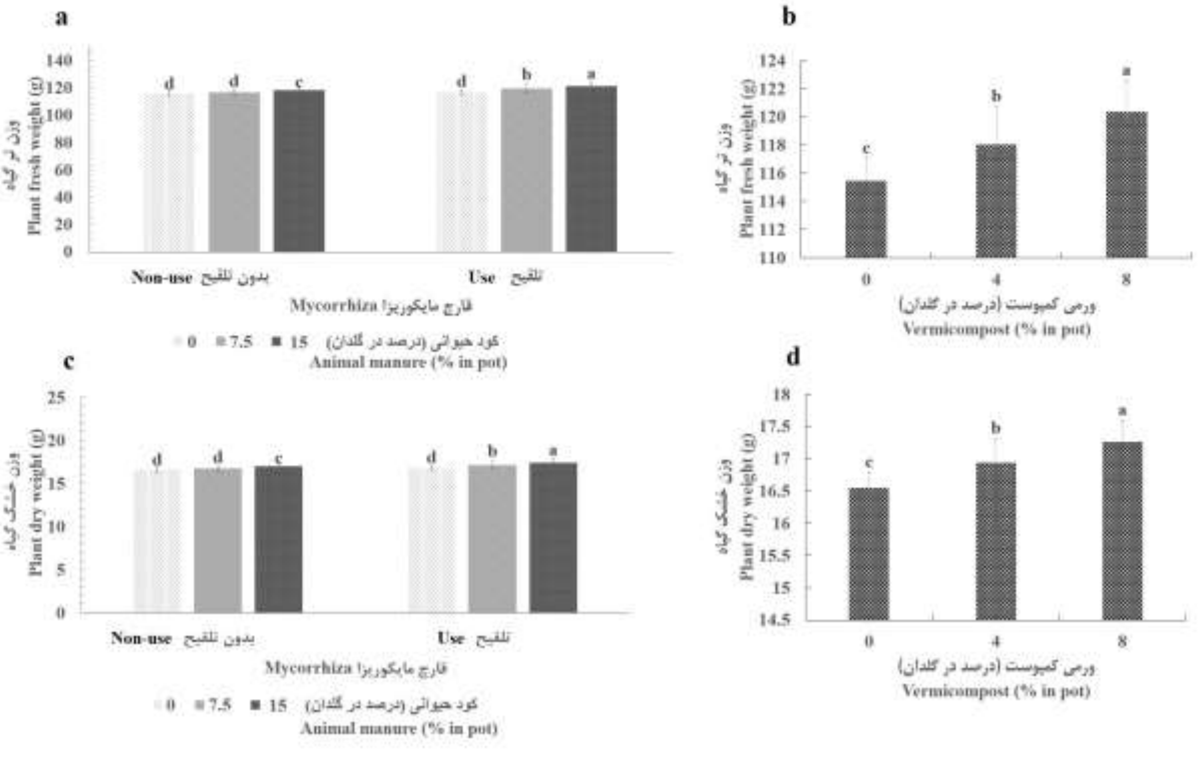
در این تحقیق، وزن دانه در بوته به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر مصرف ورمی‌کمپوست و کود حیوانی قرار گرفت. بر اساس نتایج به دست آمده بالاترین وزن دانه در بوته (۲/۵۶ و ۲/۵۳ گرم)، به ترتیب پس از کاربرد تلفیقی ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست به همراه ۱۵ و ۷/۵ درصد در گلدان کود حیوانی به دست آمد که اختلاف معنی‌داری از نظر آماری بین آن‌ها مشاهده نشد. علاوه بر این، کمترین وزن دانه در بوته (۲/۰۳ گرم) مربوط به تیمار شاهد بود. بر اساس نتایج، به تدریج با افزایش غلظت ورمی‌کمپوست و استفاده از مایکوریزا، وزن دانه در بوته نیز به‌طور معنی‌داری افزایش پیدا کرد. بالاترین وزن دانه در بوته با میانگین ۲/۵۲ گرم، پس از تلقیح قارچ مایکوریزا به همراه ۸ درصد در گلدان ورمی‌کمپوست مشاهده گردید (شکل ۳).

نتایج این مطالعه نشان داد بیشترین وزن تر و خشک گیاه (به ترتیب با میانگین‌های ۱۲۱/۳۳ و ۱۷/۴۱ گرم) پس از کاربرد تلفیقی مایکوریزا و ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی حاصل گردید؛ که اختلاف معنی‌داری از نظر آماری با سایر تیمارها داشت. همچنین با افزایش غلظت ورمی کمپوست، وزن تر و خشک گیاه نیز به مراتب افزایش پیدا کرد. کاربرد ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست نسبت به سایر تیمارهای ورمی کمپوست باعث افزایش معنی‌دار وزن تر و خشک گیاه به ترتیب با میانگین‌های ۱۲۰/۳۶ و ۱۷/۲۶ گرم شد (شکل ۴).



شکل ۳- اثر برهمکنش ورمی‌کمپوست × کود حیوانی (a) و ورمی‌کمپوست × مایکوریزا (b) بر وزن دانه در بوته رازیانه

Figure 3- The interaction effect of vermicompost × animal manure (a) and vermicompost × mycorrhiza (b) on seed weight/plant in fennel.
(DMRT, *p≤0.05*)

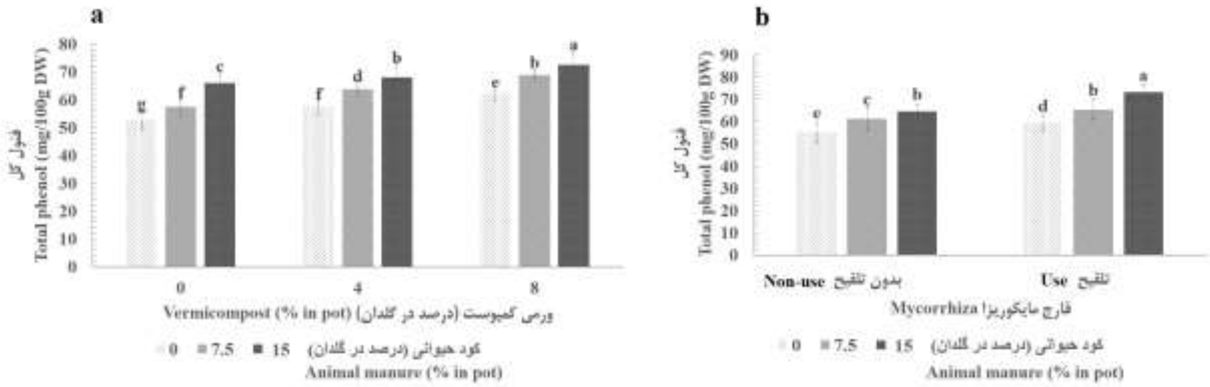


شکل ۴- اثر برهمکنش کود حیوانی × مایکوریزا و اثر ساده ورمی‌کمپوست بر وزن تر (به ترتیب، a و b) و خشک (به ترتیب، c و d) رازیانه

Figure 4- The interaction effect of animal manure × mycorrhiza and the effect of vermicompost on plant fresh weight (a and b, respectively) and plant dry weight (c and d, respectively) of fennel.
(DMRT, *p≤0.05*)

نتایج اثر برهمکنش کودهای ورمی‌کمپوست و کود حیوانی بر محتوای فنول کل در اندام هوایی رازیانه نشان داد بالاترین محتوای فنول کل در اندام هوایی با میانگین ۷۲/۶۶ میلی‌گرم در صد گرم ماده خشک پس از کاربرد تلفیقی ۸ درصد در گلدان ورمی کمپوست و ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی حاصل گردید. پس از کاربرد تیمار شاهد، کمترین محتوای فنول کل در اندام هوایی (۵۲/۵ میلی گرم در صد

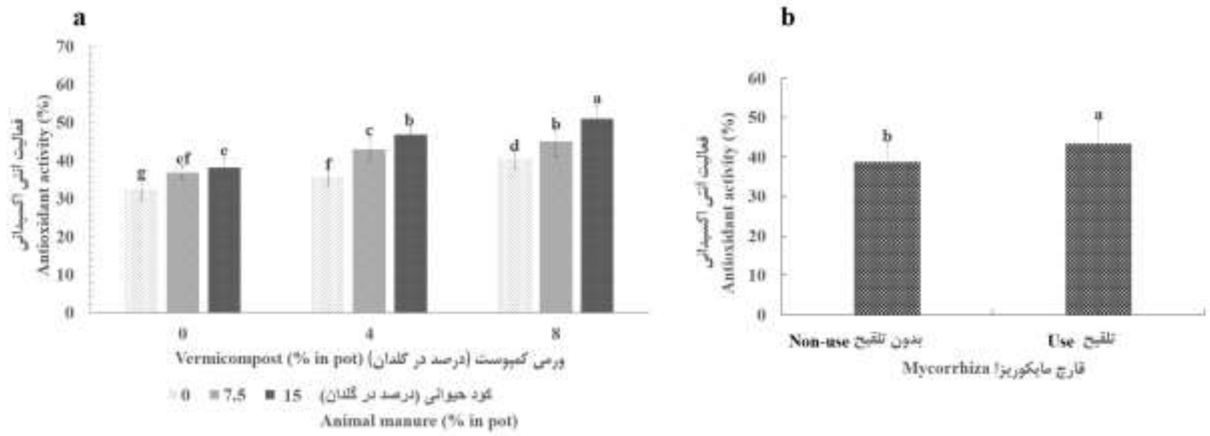
گرم ماده خشک) مشاهده شد. همچنین با افزایش غلظت کود حیوانی و کاربرد مایکوریزا، محتوای فنول کل در اندام هوایی نیـز بـه مراتـب افزایش یافت. کاربرد مایکوریزا در ترکیب با ۱۵ درصد در گلدان کـود حیوانی نسبت به سایر تیمارها باعث افزایش معنی‌دار محتـوای فنـول کل در اندام هوایی با میانگین ۷۳/۲۲ میلـی‌گـرم در صـد گـرم مـاده خشک شد (شکل ۵).



شکل ۵- اثر برهمکنش ورمی‌کمپوست × کود حیوانی (a) و کود حیوانی و مایکوریزا (b) بر محتوای فنول کل در اندام هوایی رازیانه

Figure 5- The interaction effect of vermicompost × animal manure (a) and animal manure × mycorrhiza (b) on total phenol in aerial parts of fennel.
(DMRT, $p \leq 0.05$)

افزون بر این، نتایج این مطالعه نشان داد بیشترین میزان فعالیـت آنتی‌اکسیدانی (۵۱ درصد) پس از کاربرد تلفیقـی ۸ درصـد در گلـدان ورمی کمپوست و ۱۵ درصد در گلـدان کـود حیـوانی حاصـل گردیـد. همچنین پس از کاربرد تیمار شاهد، کمترین میـزان شـاخص فعالیـت آنتـی‌اکسـیدانی (۳۲/۴۶ درصـد) مشـاهده شـد. درصـد فعالیـت آنتی‌اکسیدان به‌طور معنی‌داری تحت تأثیر کاربرد قارچ مایکوریزا قـرار گرفت. استفاده از قارچ مایکوریزا، باعث افزایش معنی‌دار درصد فعالیت آنتی‌اکسیدان شد. کمترین و بیشترین درصد فعالیت آنتی‌اکسـیدان بـا میانگین های ۳۸/۷۲ و ۴۳/۳۵ درصد به ترتیب مربوط بـه تیمارهـای عدم تلقیح و تلقیح گیاهان با مایکوریزا بود (شکل ۶).



شکل ۶- اثر برهمکنش ورمی‌کمپوست × کود حیوانی (a) و اثر ساده مایکوریزا (b) بر فعالیت آنتی‌اکسیدانی اندام هوایی رازیانه

Figure 6- The interaction effect of vermicompost × animal manure (a) and the effect of mycorrhiza (b) on antioxidant activity in aerial parts of fennel.
(DMRT, $p \leq 0.05$)

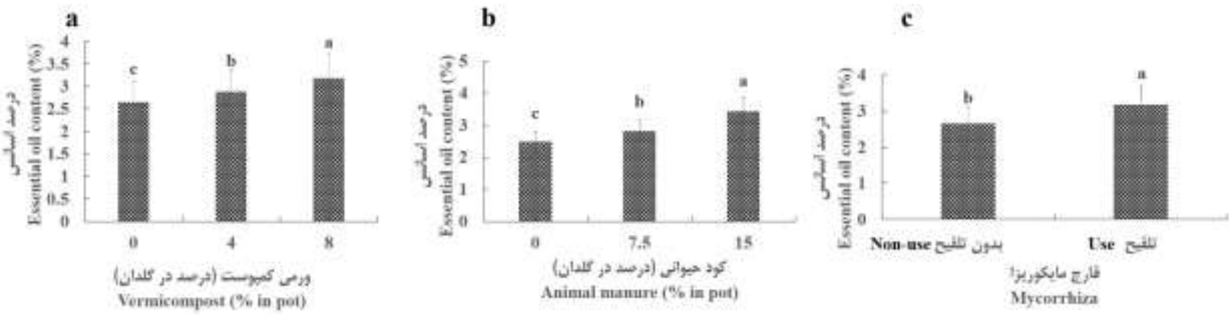
در تحقیق حاضـر اثـر متقابـل ورمـی‌کمپوسـت، کـود حیـوانی و مایکوریزا در شرایط گلخانه بر درصد اسانس میوه رازیانه معنی‌دار نبود. اثر ساده هر کدام از این عامل ها در سطح احتمال ۱ درصد بر صـفت مورد نظر معنی‌دار بـود. نتـایج نشـان داد بـا افـزایش غلظـت ورمـی کمپوست، کود حیوانی و استفاده از مایکوریزا، درصد اسانس میوه نیـز به طور معنی‌داری افزایش پیدا مـی‌کنـد. کـاربرد ۸ درصـد در گلـدان

ورمی کمپوست نسبت به سایر تیمارهای ورمی کمپوست باعث افزایش معنی‌دار (۳/۱۸ درصد) اسانس میوه شد. پس از اعمال تیمار ۱۵ درصد در گلدان کود حیوانی، بیشترین درصد اسانس میوه با میانگین ۳/۴۳ درصد حاصل گردید. استفاده از مایکوریزا درصد اسانس میوه را به طور معنی‌داری تا ۳/۱۶ درصد افزایش داد که اختلاف معنی‌داری از نظر آماری با سایر تیمارها نشان داد (شکل ۷).

جدول ۴- ترکیبات شناسایی شده در اسانس میوه رازیانه کشت شده در شرایط گلخانه

Table 4- Compounds identified in essential oil of fennel fruit grown under greenhouse conditions

شماره **No.**	نام ترکیب **Composition name**	شاخص بازداری **Retention index (RI)**
1	a-Thujene	927
2	a-Pinene	935
3	Camphene	950
4	Sabinene	975
5	b-Pinene	979
6	Myrcene	991
7	a-Phellandrene	1007
8	p-Cymene	1025
9	Limonene	1028
10	1,8-Cineole	1031
11	(Z)-b-Ocimene	1037
12	(E)-b-Ocimene	1047
13	g-Terpinene	1059
14	cis-Sabinene hydrate	1069
15	Fenchone	1090
16	Linalool	1098
17	Unknown	1106
18	Unknown	1126
19	allo-Ocimene	1129
20	Unknown	1141
21	Camphor	1147
22	Unknown	1174
23	Terpinen-4-ol	1178
24	Methyl chavicol	1196
25	endo-Fenchyl acetate	1223
26	exo-Fenchyl acetate	1236
27	(Z)-Anethole	1256
28	p-Anisaldehyde-dimethyl acetal	1262
29	(E)-Anethole	1285
30	a-Terpinyl acetate	1351
31	Eugenol	1361
32	a-Copaene	1378
33	Unknown	1389
34	(E)-Caryophyllene	1422
35	(E)-b-Farnesene	1456
36	Germacrene D	1483
37	Unknown	1498
38	d-Cadinene	1525



شکل ۷- اثر ساده ورمی‌کمپوست (a)، کود حیوانی (b) و قارچ مایکوریزا (c) بر درصد اسانس میوه رازیانه

Figure 7- The effect of vermicompost (a), animal manure (b) and mycorrhiza (c) on essential oil content of fennel. (DMRT, $p \leq 0.05$)

جداول ۴ و ۵، اثر ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و قارچ مایکوریزا بر ترکیبات تشکیل دهنده اسانس میوه رازیانه در شرایط گلخانه نشان می‌دهد. نتایج این بررسی، امکان حضور یا عدم حضور ۳۸ ترکیب ترپنوئیدی در اسانس میوه را نشان می‌دهد. به طور کلی بالاترین درصد اجزای تشکیل‌دهنده اسانس میوه در شرایط گلخانه، به ترتیب مربوط به (E)-Anethole (با میانگین ۷۸/۲۶ درصد)، Fenchone (۷/۱۵ درصد)، Limonene (۶/۱۲ درصد) و Methyl chavicol (۳/۸۵ درصد) بود که به طور کلی بیش از ۹۵ درصد پروفایل اسانس میوه مربوط به این ۴ ترکیب بود (جدول ۵). با توجه به نتایج ارائه شده در تیمارها، پس از کاربرد تیمار شاهد، ۵ ترکیب در پروفایل اسانس شناسایی نشد. این ترکیبات شامل Linalool، a-Terpinyl acetate، Eugenol، (E)-Caryophyllene و (E)-b-Farnesene بودند. به طور کلی در این مطالعه، کاربرد ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و مایکوریزا سبب تغییر در درصد ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس میوه رازیانه شد (جدول ۵). میزان (E)-Anethole به عنوان ترکیب غالب اسانس، در تیمار شاهد ۶۶/۹۲ درصد گزارش گردید. کاربرد تلفیقی مایکوریزا و ۴ درصد در گلدان ورمی کمپوست محتوای (E)-Anethole موجود در اسانس را تا ۸۰/۷۲ درصد افزایش داد؛ به طوری که بالاترین محتوای این ترکیب در اسانس میوه، مربوط به این تیمار بود. همچنین کمترین میزان (E)-Anethole در این پژوهش (۶۶/۹۲ درصد) مربوط به تیمار شاهد بود (جدول ۵).

جدول ۵- اثر متقابل کاربرد ورمی‌کمپوست× کود حیوانی × قارچ مایکوریزا بر ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس میوه رازیانه

Table 5- The interaction effect of vermicompost× animal manure ×mycorrhiza on concentrations of chemical compounds (%) identified in essential oil of fennel

ورمی کمپوست Vermicompost (% in pot volume)	کود حیوانی Animal manure (% in pot volume)	مایکوریزا Mycorrhiza	میانگین Means					
			a-Thujene	a-Pinene	Camphene	Sabinene	b-Pinene	Myrcene
0	0	Non-use	0.008	0.98	0.12	0.24	0.06	0.59
		Use	-	0.84	0.12	0.2	0.05	0.54
	7.5	Non-use	0.006	0.78	0.09	0.21	0.05	0.51
		Use	-	0.97	0.15	0.22	0.06	0.6
	15	Non-use	-	1.01	0.15	0.23	0.06	0.71
		Use	0.007	0.99	0.12	0.26	0.07	0.59
4	0	Non-use	-	0.76	0.1	0.2	0.05	0.52
		Use	0.004	0.82	0.12	0.21	0.06	0.54
	7.5	Non-use	0.006	0.89	0.11	0.23	0.06	0.56
		Use	0.006	0.86	0.13	0.2	0.06	0.62
	15	Non-use	-	0.86	0.13	0.21	0.06	0.59
		Use	0.009	0.93	0.11	0.24	0.06	0.53
8	0	Non-use	-	0.98	0.1	0.23	0.06	0.52
		Use	-	0.77	0.12	0.21	0.05	0.57
	7.5	Non-use	-	0.87	0.1	0.24	0.06	0.59
		Use	-	0.94	0.13	0.22	0.06	0.62
	15	Non-use	0.006	0.84	0.12	0.23	0.06	0.56
		Use	-	0.98	0.15	0.22	0.06	0.69

ادامه جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و قارچ مایکوریزا بر ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس میوه رازیانه

Continued **Table 5- Effect of vermicompost, animal manure and mycorrhiza on concentrations of chemical compounds (%) identified in essential oil of fennel**

ورمی کمپوست Vermicompost (% in pot volume)	کود حیوانی Animal manure (% in pot volume)	مایکوریزا Mycorrhiza	میانگین Means				
			a-Phellandrene	p-Cymene	Limonene	1,8-Cineole	(Z)-b-Ocimene
0	0	Non-use	0.18	0.03	6.84	0.11	1.32
		Use	0.14	0.03	5.43	0.06	1.22
	7.5	Non-use	0.12	0.03	5.86	0.13	1.09
		Use	0.15	0.03	5.53	0.13	1.12
	15	Non-use	0.16	0.04	6.58	0.41	1.09
		Use	0.14	0.04	6.68	0.009	1.2
4	0	Non-use	0.14	0.04	5.54	0.12	1.08
		Use	0.15	0.03	5.25	0.08	1.1
	7.5	Non-use	0.16	0.04	6.55	0.11	1.09
		Use	0.14	0.03	6.16	0.08	1.18
	15	Non-use	0.12	0.04	5.92	0.32	0.98
		Use	0.17	0.05	6.32	0.18	1.14
8	0	Non-use	0.12	0.06	5.93	0.16	1.11
		Use	0.13	0.03	5.2	0.22	1.03
	7.5	Non-use	0.12	0.03	7.5	0.05	1.15
		Use	0.15	0.05	6.27	0.02	1.006
	15	Non-use	0.13	0.04	6.28	0.07	1.07
		Use	0.15	0.05	6.41	0.03	1.09

ادامه جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و قارچ مایکوریزا بر ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس میوه رازیانه

Continued **Table 5- Effect of vermicompost, animal manure and mycorrhiza on concentrations of chemical compounds (%) identified in essential oil of fennel**

ورمی کمپوست Vermicompost (% in pot volume)	کود حیوانی Animal manure (% in pot volume)	مایکوریزا Mycorrhiza	میانگین Means					
			(E)-b-Ocimene	g-Terpinene	cis-Sabinene hydrate	Fenchone	Linalool	allo-Ocimene
0	0	Non-use	0.04	0.09	0.01	7.01	-	0.07
		Use	0.03	0.07	-	7.19	-	0.05
	7.5	Non-use	0.04	0.12	0.008	6.49	0.02	0.06
		Use	0.03	0.13	-	7.12	-	0.07
	15	Non-use	0.04	0.11	-	8.48	-	0.06
		Use	0.04	0.09	0.01	6.66	0.01	0.08
4	0	Non-use	0.04	0.11	-	6.38	-	0.05
		Use	0.04	0.1	0.01	6.64	0.02	0.06
	7.5	Non-use	0.04	0.18	-	6.16	0.03	0.06
		Use	0.04	0.09	0.01	8.2	-	0.07
	15	Non-use	0.03	0.12	-	7.53	-	0.07
		Use	0.04	0.18	-	5.82	-	0.11
8	0	Non-use	0.04	0.12	-	6.61	0.08	0.06
		Use	0.04	0.14	-	7.81	0.07	0.08
	7.5	Non-use	0.04	0.11	-	6.83	-	0.06
		Use	0.04	0.13	-	8.04	0.02	0.05
	15	Non-use	0.04	0.1	0.01	6.37	0.03	0.07
		Use	-	0.08	-	9.38	-	0.05

ادامه جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و قارچ مایکوریزا بر ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس میوه رازیانه

***Continued* Table 5- Effect of vermicompost, animal manure and mycorrhiza on concentrations of chemical compounds (%) identified in essential oil of fennel**

ورمی کمپوست Vermicompost (% in pot volume)	کود حیوانی Animal manure (% in pot volume)	مایکوریزا Mycorrhiza	میانگین Means				
			Camphor	Terpinen-4-ol	Methyl chavicol	endo-Fenchyl acetate	exo-Fenchyl acetate
0	0	Non-use	0.17	0.02	14.54	0.02	0.09
		Use	0.17	0.02	3.37	0.02	0.09
	7.5	Non-use	0.17	0.02	3.41	0.02	0.08
		Use	0.16	-	3.21	-	0.08
	15	Non-use	0.19	-	3.31	-	0.09
		Use	0.16	-	3.19	0.02	0.08
4	0	Non-use	0.15	-	3.25	-	0.07
		Use	0.16	0.01	3.18	0.02	0.09
	7.5	Non-use	0.14	0.01	3.31	0.01	0.09
		Use	0.19	0.02	3.17	0.02	0.12
	15	Non-use	0.17	-	3.2	-	0.08
		Use	0.13	0.01	3.16	0.02	0.09
8	0	Non-use	0.21	-	3.26	-	0.10
		Use	0.22	-	3.1	-	0.13
	7.5	Non-use	0.16	-	3.22	-	0.12
		Use	0.20	0.02	3.15	-	0.09
	15	Non-use	0.17	0.01	3.06	0.02	0.1
		Use	0.20	-	3.24	-	0.1

ادامه جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و قارچ مایکوریزا بر ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس میوه رازیانه

***Continued* Table 5- Effect of vermicompost, animal manure and mycorrhiza on concentrations of chemical compounds (%) identified in essential oil of fennel**

ورمی کمپوست Vermicompost (% in pot volume)	کود حیوانی Animal manure (% in pot volume)	مایکوریزا Mycorrhiza	میانگین Means				
			(Z)-Anethole	p-Anisaldehyde-dimethyl acetal	(E)-Anethole	a-Terpinyl acetate	Eugenol
0	0	Non-use	0.16	0.07	66.92	-	-
		Use	0.13	0.04	78.46	-	1.21
	7.5	Non-use	0.13	0.06	80.10	0.02	0.03
		Use	0.14	0.07	79.76	-	-
	15	Non-use	0.12	0.14	76.66	-	-
		Use	0.11	0.19	78.73	0.08	0.01
4	0	Non-use	0.13	0.12	80.69	-	0.02
		Use	0.13	0.13	80.72	-	0.02
	7.5	Non-use	0.13	0.04	79.58	-	0.04
		Use	0.14	0.06	77.7	0.01	0.27
	15	Non-use	0.16	0.21	78.79	-	-
		Use	0.15	0.16	80.07	-	-
8	0	Non-use	0.20	0.16	79.58	-	-
		Use	0.13	0.1	79.68	-	-
	7.5	Non-use	0.16	0.22	78.09	-	-
		Use	0.13	0.18	78.1	-	-
	15	Non-use	0.16	0.09	78.26	0.01	1.59
		Use	0.14	-	76.79	-	-

ادامه جدول ۵- مقایسه میانگین اثر متقابل ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و قارچ مایکوریزا بر ترکیبات تشکیل‌دهنده اسانس میوه رازیانه

Continued Table 5- Effect of vermicompost, animal manure and mycorrhiza on concentrations of chemical compounds (%) identified in essential oil of fennel

ورمی کمپوست Vermicompost (% in pot volume)	کود حیوانی Animal manure (% in pot volume)	مایکوریزا Mycorrhiza	میانگین Means				
			a-Copaene	(E)-Caryophyllene	(E)-b-Farnesene	Germacrene D	d-Cadinene
0	0	Non-use	0.02	-	-	0.14	0.02
		Use	0.03	0.21	0.04	0.17	0.02
	7.5	Non-use	0.03	0.05	0.01	0.17	0.02
		Use	-	-	-	0.12	-
	15	Non-use	-	-	-	0.09	-
		Use	0.03	0.08	0.02	0.16	0.02
4	0	Non-use	-	0.03	-	0.14	-
		Use	0.02	0.01	0.01	0.14	0.02
	7.5	Non-use	0.02	0.05	0.02	0.16	0.02
		Use	0.03	0.12	0.02	0.16	0.02
	15	Non-use	0.02	0.14	-	0.12	-
		Use	0.02	0.01	0.01	0.15	0.02
8	0	Non-use	-	0.04	-	0.16	-
		Use	0.02	-	-	0.13	-
	7.5	Non-use	-	0.07	0.03	0.14	0.03
		Use	0.02	0.08	-	0.14	0.03
	15	Non-use	0.03	0.2	0.04	0.16	0.02
		Use	-	-	-	0.1	-

بحث

مدیریت کود از عوامل اصلی در تولید گیاهان دارویی بوده و مصرف صحیح عناصر غذایی، سبب افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان می‌شود (Chatterjee, 2001). کودهای آلی علاوه بر اثرات مثبت بیولوژیک و اصلاح خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به علت آزادسازی تدریجی مواد غذایی، آلودگی کمتری را در محیط زیست ایجاد می‌کنند (Lee, 2010). استفاده از کود آلی در سیستم ارگانیک و مدیریت پایدار خاک از اهمیت بالایی برخوردار است. بسیاری از محققین اعتقاد دارند کودهای آلی با افزایش مواد آلی و هوموس خاک موجب افزایش درصد خلل و فرج و اسفنجی شدن خاک و در نهایت کاهش وزن مخصوص ظاهری خاک می‌شوند. این عوامل نیز به نوبه خود موجب رشد و گسترش بیشتر ریشه گیاهان در خاک و در نهایت بهبود جذب آب و عناصر غذایی و افزایش عملکرد گیاهان می‌شود (Singh *et al.*, 2003).

نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد ورمی کمپوست و کود حیوانی باعث بهبود خصوصیات رشدی و عملکردی گیاه رازیانه می‌شوند. مطالعات گسترده‌ای در رابطه با نقش مثبت کودهای آلی در افزایش خصوصیات عملکردی گیاهان انجام شده است. در پژوهشی مصرف کودهای آلی و دامی عملکرد دانه، عملکرد زیستی، تعداد چتر در بوته، تعداد دانه در چتر و ارتفاع بوته زیره سبز را افزایش داد (Saeed Nejhad and Rezvani Moghadam, 2010). گزارش شده کودهای آلی باعث افزایش معنی‌داری در ارتفاع گیاه رازیانه می‌شوند که با نتایج این پژوهش در یک راستا است (Moradi *et al.*, 2011). در خصوص اثر کودهای زیستی بر افزایش ارتفاع بوته باید اظهار داشت که این امر احتمالاً ناشی از افزایش جذب عناصر غذایی به ویژه فسفر و نیتروژن و تأثیر آن بر ارتفاع می‌باشد؛ که با نتایج تحقیقات عزاز و همکاران (Azzaz *et al.*, 2009) بر روی رازیانه مطابقت دارد. کاربرد ورمی‌کمپوست و افزایش ارتفاع بوته در بابونه (Haj Seyed Hadi *et al.*, 2011) و زیره سبز (Saeed Nejhad and Rezvani Moghadam, 2010) به نقش این ماده در بهبود جذب عناصر غذایی و آب و به دنبال آن اثر مثبت بر فتوسنتز گیاه (Hameeda *et al.*, 2006) نسبت داده می‌شود. بر اساس یافته‌های یک پژوهش بر روی رازیانه، گزارش شد که مصرف توأم کمپوست و ورمی‌کمپوست سبب افزایش بارز ارتفاع بوته، تعداد شاخه اصلی در بوته، عملکرد دانه و عملکرد اسانس در مقایسه با سایر تیمارهای کود آلی و شاهد گردید (Moradi *et al.*, 2011). نتایج تحقیق کاستیک و همکاران (Ćustić *et al.*, 2003) نشان داد که مصرف کود دامی، نقش مؤثری در بهبود عملکرد کاسنی ریشه قرمز دارد. افزایش وزن تر و خشک می‌تواند به علت در دسترس بودن تمامی عناصر مغذی کم مصرف و پرمصرف فراهم شده توسط این کودها و همچنین بهبود ظرفیت نگهداری آب خاک باشد.

علیرغم وجود تفاوت فاحش برخی عناصر پرمصرف مانند فسفر در منابع کودی مورد استفاده در این آزمایش، تفاوت بسیار زیادی بین شاخص‌های رشدی مانند وزن تر گیاه مشاهده نشد. مصرف بیش از حد فسفر نه تنها تأثیر چشمگیری در افزایش عملکرد گیاه ندارد، بلکه به علت ایجاد اختلال در تغذیه گیاه و مختل کردن برخی فرآیندهای متابولیسمی، ممکن است موجبات کاهش عملکرد را نیز فراهم نماید. از جمله آثار زیان‌بار مصرف فراوان فسفر، می‌توان به تثبیت و جذب فسفر توسط ذرات کلوئیدی خاک و افزایش ذرات فسفاتی در خاک، که باعث جلوگیری از جذب دیگر عناصر غذایی توسط ریشه گیاه می-شود، اشاره کرد. همچنین مسمومیت فسفری ناشی از جذب بیش از حد این عنصر، ازدیاد غلظت آن در بافت‌های گیاه و به هم خوردن تعادل عناصر غذایی، منجر به غیر متحرک شدن آهن در گیاه، ممانعت از جذب آهن توسط ریشه، کاهش جذب مس، تشدید کمبود عنصر روی و مختل شدن متابولیسم روی در گیاه، کاهش میکوریزایی شدن ریشه و همچنین تخریب ساختمان خاک می‌گردد (Hajeb *et al*., 2017).

در پژوهشی بر روی نخود، مشخص گردید که مصرف سه تن در هکتار ورمی کمپوست، باعث افزایش بارز عملکرد بیولوژیک در مقایسه با شاهد گردید (Kumawat *et al*., 2006). یافته‌های این تحقیق با نتایج بسیاری از محققین در خصوص اثر ورمی‌کمپوست بر رشد ریشه در گیاهان مطابقت دارد. یافته‌های ادواردز و باروز (Edwards and Burrows, 1988) بیانگر بهبود عملکرد ریشه و رشد گیاه در اثر مصرف ورمی‌کمپوست بود. آن‌ها این افزایش عملکرد را به افزایش فعالیت مواد شبه‌هورمونی از جمله اکسین، جیبرلین، سیتوکینین و همچنین ویتامین B_{12} نسبت دادند. دانشیان و همکاران (Daneshian *et al*., 2011) اثر سطوح مختلف کود گاوی را بر عملکرد کمی و کیفی ریحان مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که بیشترین عملکرد بذر، عملکرد زیستی و درصد اسانس پس از کاربرد بالاترین میزان کودهای دامی به دست آمد. در پژوهشی بر روی بادرنجبویه نیز کاربرد کودهای آلی، وزن هزار دانه را افزایش داد (Javanmardi and Hasanshahian, 2014).

نتایج این پژوهش نشان داد کاربرد کودهای آلی باعث افزایش محتوای فنولی و فلاونوئیدی گیاه رازیانه می‌شود. برخی شواهد نشان می‌دهد هیومیک اسید و مواد هیومیکی موجود در کودهای حیوانی و ورمی‌کمپوست‌ها حاوی گروه‌های فنولی و کربوکسیلی بوده که این گروه‌ها عمدتاً جایگاه غالب نگهداری و ذخیره برخی عناصر نظیر مس و روی هستند. این مواد به نوبه خود باعث افزایش بیوسنتز ترکیبات فنولی از جمله فلاونوئیدها و آنتوسیانین‌ها شده و در نتیجه بهبود عملکرد کمی و کیفی محصولات قابل انتظار است (Theunissen *et al*., 2010). نتایج صفایی و همکاران (Safaei *et al*., 2014) حاکی از افزایش عملکرد خشک گیاه آویشن دنایی با افزایش کودهای دامی و کاهش کودهای شیمیایی در سیستم تلفیقی است؛ افزایش عملکرد فنولی به تبعیت از افزایش عملکرد خشک منطقی به نظر می‌رسد. پژوهشگران دیگری نیز نقش مثبت ورمی‌کمپوست‌ها را در افزایش سنتز فلاونوئیدها در گیاهان گزارش کرده‌اند (Kheiry *et al*., 2016). آنزیم فنیل‌آلانین‌آمونیالیاز نقش کلیدی در مسیر متابولیسمی فنیل‌پروپانوئیدها دارد که فعالیت این آنزیم می‌تواند تحت تأثیر تغذیه گیاه، تنش‌های زنده و غیرزنده و مرحله رشدی گیاه تغییر کند (Bagal *et al*., 2012). افزایش میزان فنول‌ها در کلم بروکلی پس از کاربرد کودهای آلی، نقش بارز این کودها را در بیوسنتز ترکیباتی که القاءکننده مسیر شیکمیک‌اسید و درنهایت تولید بیشتر فلاونوئیدها و سایر ترکیبات فنولی است را تقویت می‌کند (Naguib *et al*., 2012).

مطالعات متعددی به تأثیر مثبت ورمی‌کمپوست در افزایش عملکرد کمی و کیفی گیاهان دارویی و زراعی پرداخته‌اند که از آن جمله می‌توان به تأثیر مطلوب ورمی‌کمپوست بر عملکرد بیولوژیک، کمیت و کیفیت اسانس ریحان (Anwar *et al*., 2005) و رازیانه (Darzi *et al*., 2007) اشاره کرد. آزمایشات متعدد نشان داده است که کاربرد کودهای بیولوژیک باعث تغییر در میزان اسانس و ترکیبات اسانس گیاهان می‌شود. در پژوهشی مشابه بر روی رازیانه، بالاترین عملکرد اسانس و میزان آنتول در اسانس پس از کاربرد کمپوست و ورمی‌کمپوست به دست آمد (Moradi *et al*., 2011). کودهای حیوانی و ورمی‌کمپوست غنی از عناصر غذایی پر مصرف و کم مصرف بوده که با آزاد سازی تدریجی این عناصر در طول دوره رشد گیاه، باعث افزایش میزان آنتول موجود در اسانس گیاه رازیانه شده و در نتیجه کیفیت اسانس این گیاه را بهبود می‌بخشند (Moradi *et al*., 2011). از آنجایی که اسانس‌ها ترکیباتی ترپنوئیدی بوده و واحدهای سازنده آن‌ها (ایزوترپنوئیدها) مانند ایزوپنتنیل پیروفسفات و دی متیل آلیل پیروفسفات، نیاز مبرم به ATP و NADPH دارند و با توجه به این که حضور عناصری مانند نیتروژن و فسفر برای تشکیل ترکیبات اخیر ضروری است، پس می‌توان نتیجه گرفت که تیمارهای کودی مورد آزمایش با فراهمی بیشتر میزان نیتروژن و فسفر نسبت به شاهد، باعث بهبود میزان آنتول اسانس شدند (Moradi *et al*., 2011).

قارچ‌های مایکوریزا از عوامل ضروری در سیستم پایدار خاک–گیاه محسوب شده و به دلیل افزایش مؤثر سطح جذب ریشه از طریق ایجاد هیف، سبب بهبود جذب آب و عناصر غذایی در گیاهان می‌شوند (Chen *et al*., 2020). در این پژوهش، قارچ مایکوریزا نقش مثبتی در افزایش و بهبود شاخص‌های رشدی و عملکردی رازیانه داشت. در یک پژوهشی مشابه، اثر مایکوریزا بر عملکرد دانه، عملکرد بیولوژیک، شاخص برداشت و عملکرد اسانس رازیانه و زنیان معنی‌دار بود، به طوری که تلقیح با مایکوریزا به ترتیب باعث افزایش ۲۵ و ۳۵ درصدی عملکرد این دو گیاه شد (Shabahang

et al., 2013).

گیاهان دارای همزیستی مایکوریزایی نسبت به گیاهان غیرمایکوریزایی، آب را از خاک سریع‌تر و کامل‌تر تخلیه می‌نمایند، زیرا در گیاهان مایکوریزایی معمولاً اندام هوایی و سطح برگ‌ها در گیاه توسعه بیشتری پیدا می‌کند که این خود باعث افزایش نیاز تعرقی گیاهان مایکوریزایی می‌شود. از طرف دیگر سیستم ریشه‌ای در گیاهان مایکوریزایی منشعب‌تر شده، قطر ریشه‌های فرعی در آن‌ها کاهش و طول ریشه افزایش یافته است. به همین دلیل ریشه‌های مایکوریزایی سطح تماس بیشتری با خاک پیدا کرده و قادر به جذب سریع‌تر آب از خاک می‌شوند (Amiri *et al*., 2015). به نظر می‌رسد همزیستی مایکوریزایی با ریشه رازیانه سبب افزایش فتوسنتز شده و این امر موجب رشد بیشتر و بهبود ارتفاع و عملکرد بیولوژیک گیاه شده است. نتایج تحقیق درزی و همکاران (Darzi *et al*., 2007) بر روی رازیانه نشان داد که بیشترین تعداد چتر در بوته، عملکرد بیولوژیک و درصد همزیستی ریشه در بوته‌های تلقیح شده با مایکوریزا حاصل شد. کاپور و همکاران (Kapoor *et al*., 2004) نیز اظهار داشتند که همزیستی مایکوریزایی از طریق بهبود تغذیه گیاه و افزایش زیست توده در گیاه رازیانه موجب تسریع در گل‌دهی و افزایش تعداد چتر در بوته می‌شود. پژوهشگران (Gharib *et al*., 2008) در گیاه مرزنجوش گزارش کردند که کودهای زیستی اثر مثبتی بر عملکرد بذر و میزان اسانس این گیاهان داشت. افزون بر این، نقش مثبت مایکوریزا بر اجزای عملکرد، عملکرد بذر، درصد و عملکرد اسانس گشنیز گزارش شده است (Kapoor *et al*., 2002).

نتیجه‌گیری

نتایج این مطالعه نشان داد کاربرد ورمی‌کمپوست، کود حیوانی و مایکوریزا باعث بهبود خصوصیات رشدی، بیوشیمیایی و عملکرد اسانس رازیانه در شرایط گلخانه می‌گردد. نتایج پژوهش حاضر با فیزیولوژی کارکرد کودهای حیوانی، ورمی‌کمپوست و کود نیتروژن و در اختیار قرار دادن عناصر غذایی برای گیاه رازیانه هماهنگ است؛ زیرا این کودها با در اختیار قرار دادن مقادیر زیادی از عناصر غذایی مورد نیاز و تأثیری که بر جنبه‌های مختلف رشد و توسعه ریشه می‌گذارند عملکرد گیاه را افزایش می‌دهند. در این میان شاید نقش نیتروژن به دلیل مشارکت در پروتئین‌سازی و آهن که در تثبیت نیتروژن، فتوسنتز و انتقال الکترون نقش دارد، بیشتر از بقیه نمایان باشد. همچنین نتایج نشان داد، تلقیح گیاهان با مایکوریزا، بیشترین تأثیر را بر بهبود شاخص‌های رشدی، عملکرد بذر، اسانس و محتوای فنولی و فلاونوئیدی گیاه داشت.

منابع

1. Amiri R., Nikbakht A., and Etemadi N. 2015. Alleviation of drought stress on rose geranium [*Pelargonium graveolens* (L.) Herit.] in terms of antioxidant activity and secondary metabolites by mycorrhizal inoculation. Scientia Horticulturae 197: 373-380. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2015.09.062.
2. Anwar M., Patra D.D., Chand S., Alpesh K., Naqvi A.A., and Khanuja S.P.S. 2005. Effect of organic manures and inorganic fertilizer on growth, herb and oil yield, nutrient accumulation, and oil quality of French basil. Communications in Soil Science and Plant Analysis 36(13-14): 1737-1746. https://doi.org/10.1081/CSS-200062434.
3. Arancon N.Q., Edwards C.A., Atiyeh R., and Metzger J.D. 2004. Effects of vermicomposts produced from food waste on the growth and yields of greenhouse peppers. Bioresource Technology 93(2): 139-144. 10.1016/j.biortech.2003.10.015.
4. Arancon N.Q., Galvis P.A., and Edwards C.A. 2005. Suppression of insect pest populations and damage to plants by vermicomposts. Bioresource Technology 96(10): 1137-1142. 10.1016/j.biortech.2004.10.004.
5. Atiyeh R.M., Subler S., Edwards C.A., Bachman G., Metzger J.D., and Shuster W. 2000. Effects of vermicomposts and composts on plant growth in horticultural container media and soil. Pedobiologia 44(5): 579-590. https://doi.org/10.1078/S0031-4056(04)70073-6
6. Azzaz N.A., Hassan E.A., and Hamad E.H. 2009. The chemical constituent and vegetative and yielding characteristics of fennel plants treated with organic and bio-fertilizer instead of mineral fertilizer. Australian Journal of Basic and Applied Sciences 3(2): 579-587.
7. Bagal U.R., Leebens-Mack J.H., Lorenz W.W., and Dean J.F. 2012. The phenylalanine ammonia lyase (PAL) gene family shows a gymnosperm-specific lineage. In BMC Genomics 13(3): 1-9. https://doi.org/10.1186/1471-2164-13-S3-S1.
8. Behrooz A., Vahdati K., Rejali F., Lotfi M., Sarikhani S., and Leslie C. 2019. Arbuscular mycorrhiza and plant growth-promoting bacteria alleviate drought stress in walnut. HortScience 54(6): 1087-1092. https://doi.org/10.21273/HORTSCI13961-19.
9. Bouwman H., and Reinecke A.J. 1991. A defined medium for the study of growth and reproduction of the earthworm *Eisenia fetida* (Oligochaeta). Biology and Fertility of Soils 10(4): 285-289.

10. Chatterjee S.K. 2001. Cultivation of medicinal and aromatic plants in India-A commercial approach. In *International Conference on Medicinal and Aromatic Plants.* Possibilities and Limitations of Medicinal and Aromatic Plant 576: 191-202. https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2002.576.28.
11. Chen W., Meng P., Feng H., and Wang C. 2020. Effects of arbuscular mycorrhizal fungi on growth and physiological performance of *Catalpa bungei* CA Mey. under drought stress. Forests 11(10): 1117. 10.3390/f11101117
12. Ćustić M., Poljak M., Čoga L., Ćosić T., Toth N., and Pecina M. 2003. The influence of organic and mineral fertilization on nutrient status, nitrate accumulation, and yield of head chicory. Plant, Soil and Environment 49(5): 218-222. https://doi.org/10.17221/4116-PSE.
13. Daneshian J., Yousefi M., Zandi P., Jonoubi P., and Khatibani L.B. 2011. Effect of planting density and cattle manure on some qualitative and quantitative traits in two basil varieties under Guilan condition, Iran. American-Eurasian Journal of Agricultural and Environmental Sciences 11(1): 95-103.
14. Darzi M.T., Ghalavand A., and Rejali F. 2007. Effect of mycorrhiza, vermicompost and phosphate biofertilizer application on flowering, biological yield and root colonization in fennel (*Foeniculum vulgare* Mill.). Iranian Journal of Crop Sciences 10(1): 88-109. (In Persian with English abstract)
15. Edwards C.A., and Burrows I. 1988. Potential of earthworm composts as plant growth media. Earthworms in waste and environmental management/edited by Clive A. Edwards and Edward F. Neuhauser.
16. Garg P., Gupta A., and Satya S. 2006. Vermicomposting of different types of waste using *Eisenia foetida*: A comparative study. Bioresource Technology 97(3): 391-395. 10.1016/j.biortech.2005.03.009.
17. Gharib F.A., Moussa L.A., and Massoud O.N. 2008. Effect of compost and bio-fertilizers on growth, yield and essential oil of sweet marjoram (*Majorana hortensis*) plant. International Journal of Agriculture and Biology 10(4): 381-387.
18. Gholami H., Raouf Fard F., Saharkhiz M.J., and Ghani A. 2018. Yield and physicochemical properties of inulin obtained from Iranian chicory roots under vermicompost and humic acid treatments. Industrial Crops and Products 123: 610-616. 10.1016/j.indcrop.2018.07.031.
19. Giovannetti M., and Mosse B. 1980. An evaluation of techniques for measuring vesicular arbuscular mycorrhizal infection in roots. New Phytologist 489-500. https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1980.tb04556.x.
20. Haj Seyed Hadi M.R., Darzi M.T., Ghandehari Z., and Riazi G. 2011. Effects of vermicompost and amino acids on the flower yield and essential oil production from *Matricaria chamomile* L. Journal of Medicinal Plants Research 5(23): 5611-5617.10.18869/acadpub.ejgcst.7.4.1.
21. Hajeb S., Boroumand N., and Sanjari S. 2017. Effect of application of phosphorus fertilizer in calcareous soils containing different amounts of native phosphorus on yield and micronutrients uptake of cucumber. Journal of Soil and Plant Interactions 7(4): 1-11. (In Persian)
22. Hameeda B., Rupela O.P., Reddy G., and Satyavani K. 2006. Application of plant growth-promoting bacteria associated with composts and macrofauna for growth promotion of pearl millet (*Pennisetum glaucum* L.). Biology and Fertility of Soils 43 (2): 221-227. 10.1007/s00374-006-0098-1.
23. Javanmardi J., and Hasanshahian O. 2014. Humic acid and manure tea affected reproductive stage and fruit quality factors of pepino in organic production system. Building Organic Bridges 3: 683-686. 10.3220/REP_20_1_2014.
24. Jeffries P., Gianinazzi S., Perotto S., Turnau K., and Barea J.M. 2003. The contribution of arbuscular mycorrhizal fungi in sustainable maintenance of plant health and soil fertility. Biology and Fertility of Soils 37(1): 1-16. 10.1007/s00374-002-0546-5.
25. Kapoor R., Giri B., and Mukerji K.G. 2002. Mycorrhization of coriander (*Coriandrum sativum* L) to enhance the concentration and quality of essential oil. Journal of the Science of Food and Agriculture 82(4): 339-342. https://doi.org/10.1002/jsfa.1039.
26. Kapoor R., Giri B., and Mukerji K.G. 2004. Improved growth and essential oil yield and quality in *Foeniculum vulgare* mill on mycorrhizal inoculation supplemented with P-fertilizer. Bioresource Technology 93(3): 307-311. 10.1016/j.biortech.2003.10.028.
27. Kheiry A., Arghavani M., and Khastoo M. 2016. Effects of organic fertilizers application on morphophysiological characteristics of calendula (*Calendula officinalis* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31(6): 1047-1057. (In Persian with English abstract)
28. Kumawat P.D., Jat N.L., and Yadav S.S. 2006. Effect of organic manure and nitrogen fertilization on growth, yield and economics of barley (*Hordeum vulgare*). Indian Journal of Agricultural Science 76(4): 226-229.
29. Lee J. 2010. Effect of application methods of organic fertilizer on growth, soil chemical properties and microbial densities in organic bulb onion production. Scientia Horticulturae 124(3): 299-305. 10.1016/j.scienta.2010.01.004.
30. Mahfouz S.A., and Sharaf-Eldin M.A. 2007. Effect of mineral vs. biofertilizer on growth, yield, and essential oil content of fennel [*Foeniculum vulgare* Mill.]. International Agrophysics 21(4): 361-366.
31. Menichini F., Tundis R., Bonesi M., Loizzo M.R., Conforti F., Statti G., and Menichini F. 2009. The influence of fruit ripening on the phytochemical content and biological activity of *Capsicum chinense* Jacq. cv Habanero. Food Chemistry 114(2): 553-560. 10.1016/j.foodchem.2008.09.086.

32. Moradi R., Nasiri mahallati M., Rezvani moghadam P., Lakzian A., and Nejadali A. 2011. The effect of biological and organic fertilizers on the quantity and quality of fennel essential oil (*Foeniculum vulgare* Mill). Journal of Horticultural Science 25(1): 25-33. (In Persian)
33. Naguib A.E.M.M., El-Baz F.K., Salama Z.A., Hanaa H.A.E.B., Ali H.F., and Gaafar A.A. 2012. Enhancement of phenolics, flavonoids and glucosinolates of Broccoli (*Brassica olaracea*, var. Italica) as antioxidants in response to organic and bio-organic fertilizers. Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences 11(2): 135-142. 10.1016/j.jssas.2012.03.001.
34. Oke F., Aslim B., Ozturk S., and Altundag S. 2009. Essential oil composition, antimicrobial and antioxidant activities of *Satureja cuneifolia* Ten. Food Chemistry 112(4): 874-879. 10.1016/j.foodchem.2008.06.061.
35. Omidbeygi R. 2013. *Production and processing of medicinal plants*. Publication of Astan Quds Razavi 6 (2): 423p. (In Persian)
36. Prabha M.L., Jayraaj I.A., Jayaraj R., and Rao D.S. 2007. Effect of vermicompost and compost on growth parameters of selected vegetable and medicinal plants. Asian Journal of Microbiology, Biotechnology and Environmental Sciences 9(2): 321-326.
37. Roy S., Arunachalam K., Dutta B.K., and Arunachalam A. 2010. Effect of organic amendments of soil on growth and productivity of three common crops viz. *Zea mays*, *Phaseolus vulgaris* and *Abelmoschus esculentus*. Applied Soil Ecology 45(2): 78-84.
38. Saeed Nejhad A.H., and Rezvani Moghadam P. 2010. Evaluation of consumption of compost, vermicompost and manure fertilizers on yield, yield components of Cumin and essence percentage. Horticulture Sciences Journal 24(2): 142-148. (In Persian with English abstract)
39. Safaei L., Sharifiashoorabadi E., Afiuni D., Emami S.D., and Shoaii A.A. 2014. The effect of different nutrition systems on aerial parts and essential oil yield of *Thymus daenensis* Celak. Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 30(5): 702-713. (In Persian with English abstract)
40. Saharkhiz M.J., Smaeili S., and Merikhi M. 2010. Essential oil analysis and phytotoxic activity of two ecotypes of *Zataria multiflora* Boiss. growing in Iran. Natural Product Research 24(17): 1598-1609. https://doi.org/10.1080/14786411003754280.
41. Shabahang J., Khorramdel S., and Gheshm R. 2013. Evaluation of symbiosis with mycorhizzal on yield, yield components and essential oil of fennel (*Foeniculum vulgare* mill.) and ajowan (*Carum copticum* L.) under different nitrogen levels. Agroecology 5: 289-298. (In Persian with English abstract)
42. Shahat A.A., Ibrahim A.Y., Hendawy S.F., Omer E.A., Hammouda F.M., Abdel-Rahman F.H., and Saleh M.A. 2011. Chemical composition, antimicrobial and antioxidant activities of essential oils from organically cultivated fennel cultivars. Molecules 16(2): 1366-1377. 10.3390/molecules16021366.
43. Singh D., Chand S., and Anvar M. 2003. Effect of organic and inorganic amendment on growth and nutrient accumulation by isabgol (*Plantago ovata*) in sodic soil under greenhouse conditions. Journal of Medicinal and Aromatic Plant Sciences 5(10): 4.
44. Theunissen J., Ndakidemi P.A., and Laubscher C.P. 2010. Potential of vermicompost produced from plant waste on the growth and nutrient status in vegetable production. International Journal of the Physical Sciences 5(13): 1964-1973. https://doi.org/10.5897/IJPS.9000448.
45. Weber J., Karczewska A., Drozd J., Licznar M., Licznar S., Jamroz E., and Kocowicz A. 2007. Agricultural and ecological aspects of a sandy soil as affected by the application of municipal solid waste composts. Soil Biology and Biochemistry 39(6): 1294-1302. 10.1016/j.soilbio.2006.12.005.
46. Wojdyło A., Oszmiański J., and Czemerys R. 2007. Antioxidant activity and phenolic compounds in 32 selected herbs. Food Chemistry 105 (3): 940-949. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2007.04.038.